

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
U OSIJEKU

GRAĐEVINSKI FAKULTET OSIJEK

ZAVRŠNI RAD

U Osijeku, 13.01.2017.

Zlomislić Leonardo

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
U OSIJEKU

GRAĐEVINSKI FAKULTET OSIJEK

ZAVRŠNI RAD

TEMA: Determination of productivity of the workforce
and machines in construction

Određivanje produktivnosti radne snage i strojeva u
građevinarstvu

Zlomislić Leonardo

U Osijeku, 13.01.2017.

(ime i prezime, potpis)

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
GRAĐEVINSKI FAKULTET OSIJEK

ZNANSTVENO PODRUČJE: Tehničke znanosti

ZNANSTVENO POLJE: Građevinarstvo

ZNANSTVENA GRANA: Organizacija i tehnologija građenja

TEMA: Određivanje produktivnosti radne snage i strojeva u građevinarstvu

PRISTUPNIK: Zlomislić Leonardo

NAZIV STUDIJA: Preddiplomski stručni studij građevinarstvo

TEKST TEME:

U radu treba (na osnovu dobivene strane literature i drugih izvora) obraditi pojam produktivnosti u građevinarstvu (njeno određivanje) i utjecaje na produktivnost radnika i strojeva na gradilištu, uz ilustraciju s nekoliko primjera iz prakse. Rad treba sadržavati SAŽETAK na izvornom jeziku.

Rad treba izraditi u 3 primjerka (original+2 kopije), spiralno uvezana u A4 formatu i cjelovitu elektroničku datoteku na CD-u.

Osijek, 21.11.2016.

Predsjednik/ica Odbora za završne
i diplomske ispite:

Mentor:

Mr.sc. Držislav Vidaković,dig.

Izv.prof.dr.sc. Mirjana Bošnjak- Klečina,dig.

(ime i prezime, potpis)

(ime i prezime, potpis)

KRATKI SAŽETAK

Tema završnog rada je određivanje produktivnosti radne snage i strojeva u građevinarstvu. Završni rad je sastavljen od uvoda, samog završnog rada i zaključka.

U samom završnom radu obuhvaćen je povijesni aspekt produktivnosti u građevinarstvu, načini i izrazi za određivanje produktivnosti radne snage i strojeva, te primjeri za neke od načina određivanja, uz navođenje statističkih podataka uglavnom iz inozemstva, ali i iz hrvatskog građevinarstva. Također opisani su i navedeni čimbenici koji utječu na produktivnost na gradilištu.

SADRŽAJ

1. UVOD	<i>str. 3</i>
2. POVIJESNA PERSPEKTIVA PRODUKTIVNOSTI U GRAĐEVINARSTVU	<i>str. 4</i>
3. RADNA PRODUKTIVNOST	<i>str. 5</i>
3.1. Produktivnost na gradilištu	<i>str. 5</i>
3.2. Produktivnost u građevinskoj industriji	<i>str. 6</i>
4. FAKTORI KOJI UTJEČU NA PRODUKTIVNOST NA GRADILIŠTU	<i>str. 6</i>
4.1. Uvjeti rada na projektu	<i>str. 8</i>
4.2. Neproduktivne aktivnosti	<i>str. 9</i>
4.3. Produktivnost radnika u Hrvatskoj	<i>str. 12</i>
5. RADNE POVEZNICE U GRAĐENJU	<i>str. 14</i>
5.1. Graditeljstvo s radnicima organiziranim u sindikate	<i>str. 15</i>
5.2. Građevinski izvođači s radnicima izvan sindikata	<i>str. 15</i>
6. PROBLEMI U KOLEKTIVNOM PREGOVARANJU	<i>str. 16</i>
6.1. Regionalno pregovaranje	<i>str. 17</i>
6.2. Poboljšanje pregovaračkih performansi	<i>str. 17</i>
7. UPRAVLJANJE MATERIJALIMA	<i>str. 17</i>
8. NABAVA I DOSTAVA MATERIJALA	<i>str. 19</i>
9. KONTROLA INVENTARA	<i>str. 23</i>
9.1. Troškovi kupovine	<i>str. 23</i>
9.2. Troškovi naručivanja	<i>str. 23</i>
9.3. Troškovi skladištenja	<i>str. 24</i>
9.4. Troškovi nedostupnosti materijala	<i>str. 24</i>
10. KOMPROMISI TROŠKOVA U UPRAVLJANJU MATERIJALIMA	<i>str. 25</i>
11. GRAĐEVINSKA OPREMA	<i>str. 28</i>
11.1. Kopanje i utovarivanje	<i>str. 28</i>
11.2. Zbijanje i planiranje	<i>str. 30</i>
11.3. Bušenje i miniranje	<i>str. 32</i>
11.4. Dizanje i postavljanje	<i>str. 32</i>
11.5. Miješanje i asfaltiranje	<i>str. 33</i>
11.6. Građevinski alati i ostala oprema	<i>str. 33</i>
11.7. Automatizacija opreme	<i>str. 33</i>

12. IZBOR OPREME I STANDARDA PROIZVODNJE	<i>str. 34</i>
13. PROCESI GRAĐENJA	<i>str. 43</i>
14. REDOVI ČEKANJA I POMANJKANJE MATERIJALA	<i>str. 46</i>
14.1. Jedan poslužitelj s determinističkim dolascima i pružanjima usluga	<i>str. 46</i>
14.2. Jedan poslužitelj sa nasumičnim stopama dolazaka i konstantnom stopom usluživanja	<i>str. 51</i>
14.3. Višestruki poslužitelji	<i>str. 53</i>
15. ZAKLJUČAK	<i>str. 60</i>
16. LITERATURA	<i>str. 61</i>

1. UVOD

Konstantno praćenje izvedbe radova, rada radnika, te njihove organizacije uvelike doprinosi boljoj kvaliteti izvršenih radova, bržem izvođenju tih radova te tako i samom snalaženju voditelja projekta u svim tim radovima i operacijama.

Kako bi se pratila i poboljšala produktivnost radnika na gradilištu, moramo znati faktore koji utječu na produktivnost. Ako pratimo iskorištenost rada strojeva, također moramo znati koji faktori su utjecajni u tom području, ista takva situacija je i sa upotrebom materijala, njihovom nabavom i dostavom, te samim iskorištenjem.

U završnom radu će biti opisani pojmovi, navedeni utjecajni čimbenici te navedeni i opisani primjeri kojima se nastoji što bliže ilustrirati kako ono što je navedeno u radu izgleda u praksi. Završni rad je baziran na podacima iz knjige „*Project Management for Construction*“ od autora Chrisa Hendricksona, uz ostalu literaturu koja je korištena i navedena na kraju završnog rada. Prezentirani su primjeri iz inozemstva.

U završnom radu opisani su također i različiti procesi kao na primjer proces nabavljanja materijala, različite situacije u kojima se voditelj projekta može naći (nedostatak materijala, neadekvatni strojevi i oprema i slično), te kako se postaviti prema tim situacijama i postupiti tako da iz njih proizađu što manje posljedice. Razmotrena je i uloga sindikalnih graditelja u Sjedinjenim Američkim Državama, prednosti i mane (po izvođače i radnike), te njihov utjecaj na građevinarstvo.

Također, u završnom radu su navedeni su različiti strojevi, njihov opis i funkcija, te izrazi kojima možemo izračunati njihov učinak ili potreban broj za izvođenje određenih radova.

S obzirom da je završni rad višetmatske prirode, podijeljen je po smislenim cjelinama, te potkrijepljen dijagramima i slikama koji ilustriraju napisano.

2. Povijesna perspektiva produktivnosti u građevinarstvu

Dobro vođenje projekata u građevinarstvu mora energično pratiti i osigurati da se rad, materijali i oprema efikasno koriste. Poboljšanje produktivnosti rada bi trebala biti glavna i dugotrajna briga onih koji su odgovorni za kontrolu troškova izgrađenih objekata. Rukovanje materijalom, što uključuje nabavu, inventar i terenske popravke, zahtjeva posebnu pažnju za smanjenjem troškova. Korištenje nove, moderne opreme i inovativne metode su napravile velike promjene u građevinarstvu u posljednjih nekoliko desetljeća. Organizacije koje nisu prepoznale utjecaj raznih inovacija, te se nisu adaptirale promjenjivoj okolini su opravdano „izgurane“, iz uobičajenih građevinskih poslova i aktivnosti.

Praćenjem trendova u građevinskoj tehnologiji možemo dobiti vrlo mješovite i dvosmislene zaključke. U jednu ruku, materijali i tehnologija za građenje su nepromijenjene od uvođenja mehanizacije u prvoj polovini 20. stoljeća. Na primjer, povijest izgradnje Panamskog kanala od 1904 do 1914 tvrdi:

Građenje se nije moglo izvesti ništa brže niti efikasnije u naše vrijeme, usprkos svim tehnološkim i mehaničkim prednostima naspram prošlih, iz razloga što nijedan današnji sustav ne može nositi teret brže ili efikasnije od sustava koji je korišten. Nisu korišteni strojevi sa motorima, za sve su se koristile tračnice. Te zbog blata i kiše nijedna druga metoda ne bi bila ni u pola efikasna kao ta. [1]

U suprotnosti tom gledanju jednog velikog projekta, može se ukazati i na kontinuiranu promjenu i poboljšanje tradicionalnih materijala i tehnika. Zidanje je dobar primjer tomu:

Za zidanje kažu da se nije promijenilo tisućama godina; zidanje u smislu slaganja opeke na opeku nije. No tehnologija zidanja se uvelike promijenila. Motorizirana kolica i mješalice morta, sofisticirani sistemi skela i dizaličari su sada velika pomoć zidarima. Novi epoksidni mortovi pružaju bolje prijanjanje između opeka. Razni aditivi mortu i zaštita protiv hladnoće dozvoljavaju rad tokom cijele godine. [2]

Pridodajte ovoj listi postojećih inovacija mogućnost robotskog zidanja; automatizirani prototipovi za zidanje konstrukcija već postoje. Tehnički napredak u građenju se definitivno događa, iako se možda ne događa brzinom kao u ostalim tehničkim granama.

Građevinska industrija Sjedinjenih Država često ukazuje na faktore koji ne mogu biti kontrolirani industrijom, kao najveće faktore navode povećanje troškova i manjak tehnoloških noviteta. To uključuje uvođenje ograničenja vezanih za zaštitu okoliša i povijesnih vrijednosti, zahtjevi za sudjelovanje cjelokupne zajednice u velikim projektima, radni zakoni koji omogućuju štrajk sindikata, regulatorne politike koje uključuju građevinske i urbanističke propise, te porezni zakoni koji utječu na građenje u inozemstvu. No ipak, građevinska industrija bi trebala snositi veliku krivicu za ranije neprimjećivanje da su tehnološki rub američkih firmi odavno prešle strane građevinske firme. Mnoge prošle prakse koje su bile tolerirane kad su američke tvrtke imale tehnološku prednost, sada moraju biti promijenjene zbog suočavanja sa velikom konkurencijom. U suprotnom, američka građevinska industrija će se naći u velikim problemima.

Uz snažnu tehnološku bazu, nema razloga zašto građevinska industrija ne bi mogla sustići konkurenciju gdje god ona bila. Poduzeća individualnog dizajna i/ili građevinska poduzeća moraju istražiti nove načine da bi poboljšale produktivnost u budućnosti. Naravno, plan izvođenja projekata je još uvijek vrlo važan, ali takvo taktičko planiranje ima ograničenja i može uskoro doseći točku

iscrpljivanja jer je mnogo toga već pokušano u postojećoj praksi. Ono što je potrebno je uvesti revoluciju koja može unaprijediti produktivnost na veći nivo, ili više. Strateško planiranje bi trebalo gledati na prilike i ispitivati ima li potencijalnih opcija pomoću kojih se mogu postići novi ciljevi na osnovu postojećih resursa. Nitko ne može biti siguran u uspjeh različitih razvojnih opcija u konstruktivnom dizajnu i građenju. Međutim, uz dostupnost današnje tehnologije, neke opcije mogu biti uspješne zbog društvene i ekonomske potrebe koje bi mogle ostaviti druga ograničenja postrani. U konačnici, odluke za djelovanje, a ne planiranje, će donijeti rezultate u budućnosti. [3]

3. Radna produktivnost

Produktivnost u građenju je često definirana kao izvršeni rad po satu. S obzirom da rad čini veliki dio u troškovima građenja i količina radnih sati u izvođenju radnog zadatka, isti su u građenju ovisniji o vodstvu projekta nego materijali ili kapital, ta mjera produktivnosti se češće označava kao radna produktivnost. Međutim, važno je primjetiti da je radna produktivnost mjera sveukupne efikasnosti operativnog sustava u korištenju radne snage, opreme i kapitala u pretvaranju radnih napora u koristan proizvod, te nije mjerilo same radne sposobnosti. Na primjer, investiranjem u dio nove opreme kako bi se mogli izvesti novi radovi u građenju, proizvodnja može biti povećana uz isti broj radnih sati, čime se povećava produktivnost rada.

Proizvod u građenju se može iskazati kao pojam funkcionalnih jedinica ili konstantnih troškova. U prvom slučaju, radna produktivnost je prikazana kao proizvedene jedinice po radnom satu, kao na primjer ugrađeni kubični metri betona po satu ili kilometri autoputa izvedeni po satu. U potonjem slučaju, radna produktivnost je poistovjećena sa vrijednošću konstrukcije po radnom satu. Vrijednost građevine u ovom pogledu nije mjerena kao korisnost izgrađenih građevina, nego kao cijena građenja. Radna produktivnost mjerena na ovaj način zahtjeva mnogo pažnje pri interpretaciji. Na primjer, plaće u graditeljstvu su u opadanju u Sjedinjenim Državama tokom perioda od 1970. do 1990., te kako su plaće važna stavka u troškovima izgradnje, vrijednost građevinskih radova po satu rada će se smanjiti, sugerirajući nižu produktivnost.

3.1. Produktivnost na gradilištu

Izvođači i investitori su često zabrinuti za radnu aktivnost na gradilištu. U tu svrhu, praktično je izraziti radnu aktivnost kao funkcionalne jedinice po satu rada za svaku vrstu radnog zadatka. Međutim, čak i za ovako specifične svrhe mogu se koristiti različite razine mjerenja. Na primjer, metri kubni betona ugrađeni po satu su niža razina mjerenja nego kilometri izvedene autoceste po satu. Mjere nižih razina su korisnije za praćenje individualnih aktivnosti, dok su mjere viših razina praktičnije za razvoj industrijskih standarda performansi.

Iako je svaki izvođač i investor slobodan koristiti svoj sustav mjerenja radne produktivnosti na gradilištu, dobra je praksa koristiti sustav u kojem se može pratiti trend produktivnosti tijekom vremena i na različitim lokacijama. Potrebni su znatni naponi da bi se, regionalno ili nacionalno, prikupile informacije u dužem nizu godina da bi se dobili ti rezultati. Indeksi produktivnosti sastavljeni od statističkih podataka bi trebali sadržavati parametre kao što su obavljanje velikih radova, efekti veličine projekata, vrsta i lokacija, i ostale velike utjecaje na projekt.

U cilju razvoja industrijskih standarda izvođenja, mora postojati opće sporazumijevanje koje su mjere korisne za sastavljanje podataka. Tada se može produktivnost na gradilištu usporediti i analizirati kako bi se razvile određene mjere za svaki veliki segment građevinske industrije. Dakle, izvođač ili investitor može usporediti učinak na svom gradilištu sa prosječnim učinkom.

3.2. Produktivnost u građevinskoj industriji

Zbog različitosti građevinske industrije, jedan pokazatelj za cijelu industriju je beznačajan i nije pouzdan. Pokazatelji produktivnosti mogu biti razvijeni za velike segmente građevinske industrije diljem države ako se mogu uzeti pouzdani podaci za pojedine dijelove industrije. Za opći tip mjere produktivnosti, praktičnije je iskazati radnu produktivnost kao konstantni trošak po satu rada jer je novčanu vrijednost lakše iskazati iz velike količine podataka prikupljenih iz različitih izvora. [3]

4. Faktori koji utječu na produktivnost na gradilištu

Gradilišna produktivnost je pod utjecajem mnogo faktora koji mogu biti okarakterizirani ili kao radne karakteristike, uvjeti rada na projektu ili kao neproduktivne aktivnosti. Karakteristike rada uključuju:

- godine, vještine i iskustvo radne snage
- vodstvo i motivacija radne snage (kao motivaciju bih naveo i plaću te sigurnost posla i primitka plaće kao jedan od najbitnijih faktora, čiji će se utjecaj prikazati u posebnom poglavlju ove cjeline na primjeru hrvatskog građevinarstva)

Uvjeti rada na projektu, između ostalih faktora, uključuju:

- složenost i opseg posla
- pristupačnost gradilištu
- dostupnost radne snage
- iskorištenje radne opreme
- stavke ugovora
- lokalna klima
- lokalna kultura, posebno pri radu u inozemstvu

Neproduktivne aktivnosti povezane sa projektom mogu, no ne moraju biti plaćene od strane investitora, no kakogod, one uzimaju resurse koji bi inače mogli biti usmjereni na projekt.

Neproduktivne aktivnosti uključuju između ostaloga faktore:

- neizravan rad potreban za napredak projekta
- popravak nezadovoljavajuće izvedenog rada

- privremeni zastoj rada zbog vremena ili manjka materijala
- slobodno vrijeme za sindikalne aktivnosti
- vrijeme u odsutnosti, uključujući kasniji dolazak ili raniji odlazak radnika
- godišnji odmori
- štrajkovi

Svaka kategorija faktora utječe na produktivnost rada dostupnog projektu kao i efikasnost rada na gradilištu.

Radne karakteristike

Analiza rada je zajedničko oruđe za procjenu kvalitete radnika i njihov doprinos. Čimbenici koji mogu biti ocijenjeni su:

- Kvaliteta rada- kalibar posla koji je izveden ili napravljen.
- Kvantitet rada- opseg zadovoljavajuće obavljenog rada
- Poznavanje posla- pokazano znanje o zahtjevima, metodama, tehnikama i vještinama uključenim u izvedbu poslova i primjeni istih kako bi se povećala produktivnost
- Poznavanje srodnih poslova- poznavanje efekata poslova u drugim područjima i znanje o povezanim područjima koja imaju utjecaj na zadani posao
- Prosuđivanje- usklađivanje zaključaka, odluka i radnji
- Inicijativnost- sposobnost poduzimanja efikasnih radnji bez da su rečene od strane nadležnih
- Iskorištavanje resursa- sposobnost da se razluče potrebe projekta te da se lociraju, planiraju i efikasno koriste svi dostupni resursi
- Ovisnost- odgovornost u preuzimanju i obavljanju svojih dužnosti
- Analitičke sposobnosti- učinkovitost u razmišljanju o problemu te donošenju smislenog rješenja
- Komunikacijske sposobnosti- učinkovitost u pisanoj i govornoj komunikaciji, te u nastojanju da podređeni, suradnici, nadređeni i ostali budu adekvatno informirani
- Međuljudske vještine- učinkovitost u odgovarajućoj i produktivnoj maniri obraćanja ostalima
- Sposobnost rada pod pritiskom- sposobnost suočiti se sa kratkim rokovima i prilagoditi se promjenama
- Sigurnosna osjetljivost- sposobnost rukovanja povjerljivim informacijama te njihovo držanje u tajnosti
- Svjesnost o sigurnosti- radnik ima znanje o dobrim sigurnosnim praksama i načinima rada te pokazuje svjesnost o svojoj sigurnosti i sigurnosti drugih

- Osjećaj o zaradi i troškovima- sposobnost traženja, izvođenja i implementiranja ideja koje donose zaradu
- Efektivnost u planiranju- sposobnost predviđanja potreba, uvjeta, postavljanje ciljeva i standarda, planiranje i raspoređivanje rada te mjerenja rezultata
- Vodstvo- sposobnost razvijanja volje i želje za radom na narednim projektima kod ostalih radnika
- Delegiranje - učinkovitost u delegiranju posla na odgovarajući način
- Razvoj ljudi- sposobnost odabiranja, uvježbavanja i procjenjivanja ljudi, postavljanje standarda izvođenja radova i motiviranje radnika da napreduju u svojim okvirima
- Raznolikost (jednake mogućnosti zapošljavanja)- sposobnost radnika da osjeti potrebe manjina, žena i drugih zaštićenih grupa, te da poduzmu prihvatljive radnje kao odgovor na njihove potrebe

Svaki od ovih faktora mogu biti ocijenjeni na ljestvici od 1 do 3 boda: (1) prepoznatljiva vrlina u tom području, (2) ispunjuje očekivanja, (3) područje traži poboljšanja. [3]

Poželjni su i primjeri načina rada u tim područjima.

4.1.Uvjeti rada na projektu

Produktivnost rada na gradilištu može biti procijenjena ili za svaku vrstu rada (podopolagački radovi, zidarski radovi, itd.) ili za svaki tip konstrukcije (obiteljske kuće, razni pogoni, itd.) pod određenim skupom radnih uvjeta. Temeljna radna produktivnost može biti definirana za skup radnih uvjeta preciziranih od strane investitora ili izvođača koji želi pratiti i mjeriti radnu učinkovitost tokom vremenskog perioda pod takvim uvjetima. Pokazatelj radne produktivnosti tada može biti definiran kao omjer od radne produktivnosti na gradilištu pod različitim skupom radnih uvjeta prema temeljnoj radnoj produktivnosti, te je mjera relativne učinkovitosti rada na projektu pod tim novim skupom radnih uvjeta.

Učinci različitih faktora povezanih sa radnim uvjetima na novom projektu mogu biti procijenjeni unaprijed, neki točnije od drugih. Na primjer, za vrlo velike projekte, pokazatelj radne produktivnosti opada kako raste veličina projekta i/ili složenost projekta, zbog logističkih problema i „priučavanja“ radne snage na nove radne uvjete i radnu okolinu. Pristupačnost gradilištu često može umanjiti produktivnost rada ako radnici moraju kružno izvoditi svoje poslove, kao na primjer pri izvođenju autocesta kada moraju propuštati promet koji prolazi kraj njih. Dostupna radna snaga na domaćem tržištu je također jedan od faktora. Manjak domaće radne snage će prisiliti izvođača da zapošljava stranu radnu snagu ili da upošljava trenutnu radnu snagu prekovremeno, ili oboje. U svakom slučaju, radna produktivnost će biti umanjena te će se pojaviti dodatni troškovi. Stupanj iskorištenja radne opreme i mehanizacije na građevinskom projektu će imati očiti utjecaj na radnu produktivnost na gradilištu. Ugovorni uvjeti igraju važnu ulogu u iskorištenju sindikalne ili nesindikalne radne snage, zapošljavanje kooperanata i stupanj nadgledanja, sve to utječe na radnu produktivnost na gradilištu. Kako rad na gradilištu uključuje rad na otvorenome, lokalna klima će također direktno utjecati na

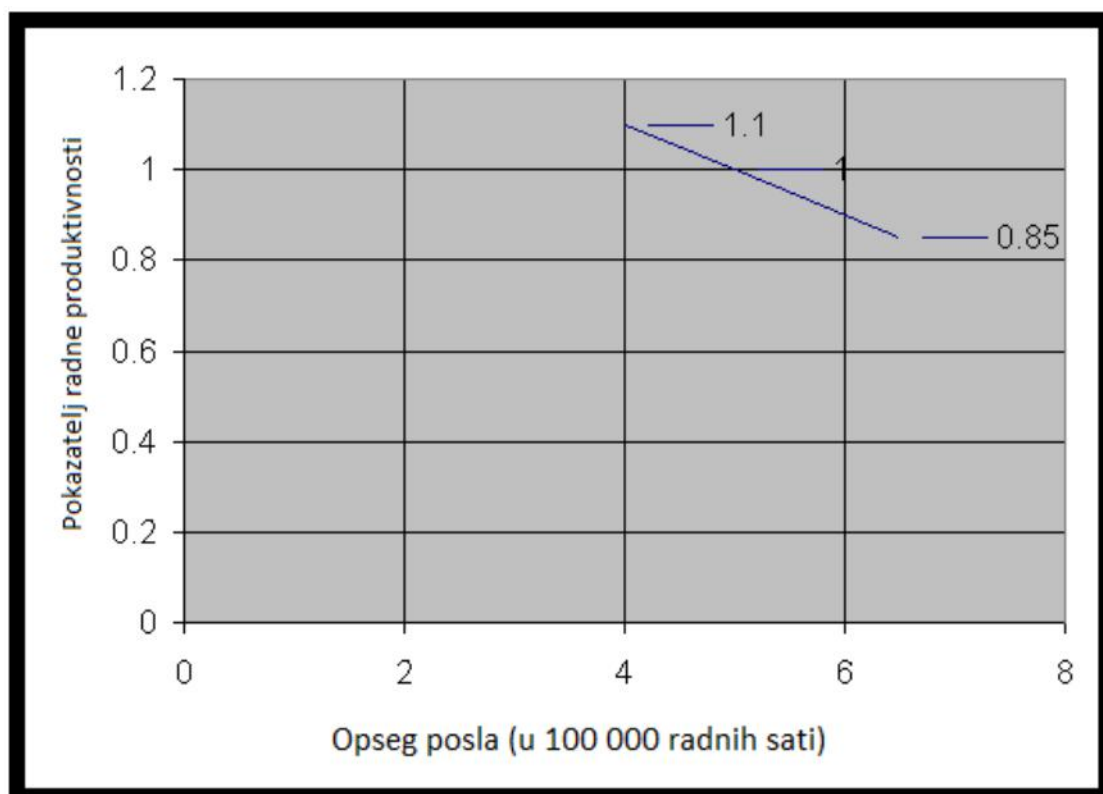
radnike. U inozemnim poslovima, treba se uzeti u obzir i kulturološke razlike i navike, te njihov utjecaj na radnu produktivnost. [3]

4.2. Neproduktivne aktivnosti

Neproduktivne aktivnosti povezane sa projektom bi također trebalo istražiti i proučiti kako bi se saznao doprinos produktivnog rada, koji je određen kao omjer direktnih radnih sati posvećenih završetku projekta i potencijalnih radnih sati. Direktni radni sati su određeni na temelju najboljih mogućih uvjeta na gradilištu isključujući sve faktore koji mogu umanjiti doprinos produktivnog rada. Na primjer, pri reparaciji površine autoceste, zastavičar koji regulira promet predstavlja indirektan rad koji ne doprinosi efikasnosti ostatka radne skupine, osim u slučaju kada je autocesta zatvorena za promet te zastavičar nije potreban. Slično tomu, za velike projekte u udaljenim područjima, indirektan rad mogu predstavljati radnici koji su zaduženi za uspostavljanje smještaja, struje i vode ostalim radnicima uključenima u projekt. Radni sati potrošeni na popravljivanje prvotno nezadovoljavajuće obavljenog posla predstavlja dodatno vrijeme koje je „oduzeto“ od potencijalnih radnih sati. Sati rada koji se odnose na takve aktivnosti moraju se odbiti od potencijalnih sati rada da bi se dobio stvarni proizvodni prinos rada.

Primjer 1-1: Efekti opsega posla na produktivnost [3]

Izvođač je utvrdio da pod skupom „standardnih“ radnih uvjeta za izgradnju objekta posao traži 500 000 radnih sati. Ako su svi ostali čimbenici ostali isti, indeks radne produktivnosti će porasti na 1.1 (110%), za posao koji traži samo 400 000 radnih sati. Pretpostavljajući da postoji linearna veza za raspon između poslova trajanja 300 000 do 700 000 radnih sati kao što je prikazano u Slici 1-1, treba odrediti indeks radne produktivnosti za novi posao koji traži 650 000 radnih sati pod istim radnim uvjetima.



Slika 1-1: ilustrativni odnos između Indeksa produktivnosti i opsega posla

Indeks produktivnosti posla za novi posao se može dobiti pomoću linearne interpolacije dostupnih podataka kako slijedi:

$$I = 1.0 + (1.1 - 1.0) \left(\frac{500,000 - 650,000}{500,000 - 400,000} \right) = 0.85$$

To implicira da je rad 15% manje produktivan na velikim poslovima u odnosu na standardni projekt.

Primjer 1-2: Doprinos produktivnog rada [4]

U izvođenju konstrukcije naftne platforme koja je nad morem, potencijalan broj radnih sati je L= 7,5 milijun radnih sati. Od ovog ukupnog broja, neproduktivne aktivnosti su iskazane u tisućama radnih sati kako slijedi:

- A = 417 za godišnje odmore i prosvjede (štrajkove)
- B = 1,415 za odsutne (npr. odmori, bolovanja i slično)
- C = 1,141 za privremeno zaustavljanje rada (npr. vrijeme, zastoji, sindikalne aktivnosti i slično)
- D = 1,431 za indirektni rad (npr. građenje privremenih objekata, čišćenje gradilišta i slično)

Treba odrediti doprinos produktivnog rada ako uzmemo gornje faktore u obzir.

Postotci vremena dodijeljenog različitim neproduktivnim aktivnostima, A, B, C i D su:

$$\frac{A}{L} = \frac{417}{7,500} = 6\%; \quad \frac{B}{L} = \frac{1,415}{7,500} = 19\%$$

$$\frac{C}{L} = \frac{1,141}{7,500} = 15\%; \quad \frac{D}{L} = \frac{1,431}{7,500} = 19\%$$

Ukupni postotak vremena X za sve neproduktivne aktivnosti je:

$$X = \frac{A + B + C + D}{L} = 6\% + 19\% + 15\% + 19\% = 59\%$$

Doprinos produktivnog rada, Y, kada su faktori A, B, C i D uzeti u obzir:

$$Y = \frac{L - A - B - C - D}{L} = 100\% - 6\% - 19\% - 15\% - 19\% = 41\%$$

Kao rezultat, samo 41% ukupnog radnog vremena je posvećeno direktno na radu na građevini.

Primjer 1-3: Iskorištenje radnog vremena radnika na gradilištu

Primjer koji ilustrira efekte zahtjeva indirektnog rada koji ograničavaju produktivni rad radnika na gradilištu je naveo R. Tucker sa slijedećim vremenskim postotcima : [5]

Produktivno vrijeme	40%
Neproduktivno vrijeme	
Administrativna kašnjenja	20%
Neefikasne radne metode	20%
Nadležnosti rada i ostala radna ograničenja	15%
Osobno vrijeme	5%

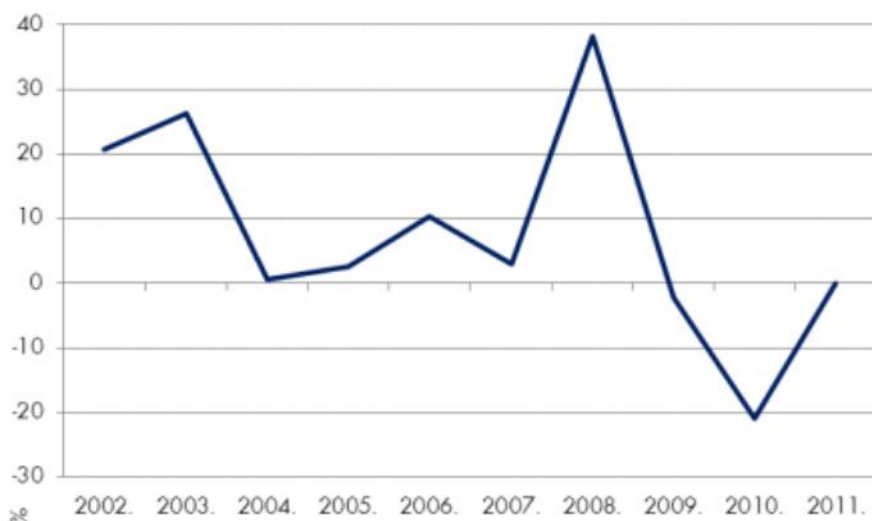
Po ovoj procjeni, koliko se vremena utrošilo na produktivan rad, toliko se vremena potrošilo i na odgođe zbog upravljanja i neučinkovitosti zbog zastarjelih metoda rada.

4.3. Produktivnost radnika u Hrvatskoj

Zbog vrlo malo podataka o statistikama u građevinarstvu prilično je teško usporediti građevinarstvo u Hrvatskoj sa građevinarstvom u inozemstvu. No, uzlet građevinarstva u Hrvatskoj prije krize i njen pad nakon krize od 2008. godine pa do sada je izlučio neke statističke rezultate po pitanju produktivnosti radne snage u građevinarstvu.

Vrijednost izvršenih građevinskih radova u Hrvatskoj od početka 2004. godine do 2008. godine bilježi neprekinuti rast uslijed rasta građevinskog sektora. Najveći zabilježeni rast bio je u pretkriznoj 2008. godini kada je ukupna vrijednost izvršenih radova zabilježila rast na godišnjoj razini od čak 44% nakon čega je trend prekinut. Silazan, negativan trend započeo je s 2009. godinom kada je započeo i pad svih ostalih pokazatelja u građevinarstvu. Pri tome je najviša stopa pada zabilježena u 2010. (-26% godišnje) što potvrđuju i značajan pad obujma građevinskih radova i izdanih odobrenja za građenje. Snažnijim padom vrijednosti izvršenih radova od pada broja zaposlenih u građevinarstvu u posljednjih par godina zabilježen je i pad produktivnosti po zaposlenom.

Produktivnost po zaposlenom, godišnja promjena

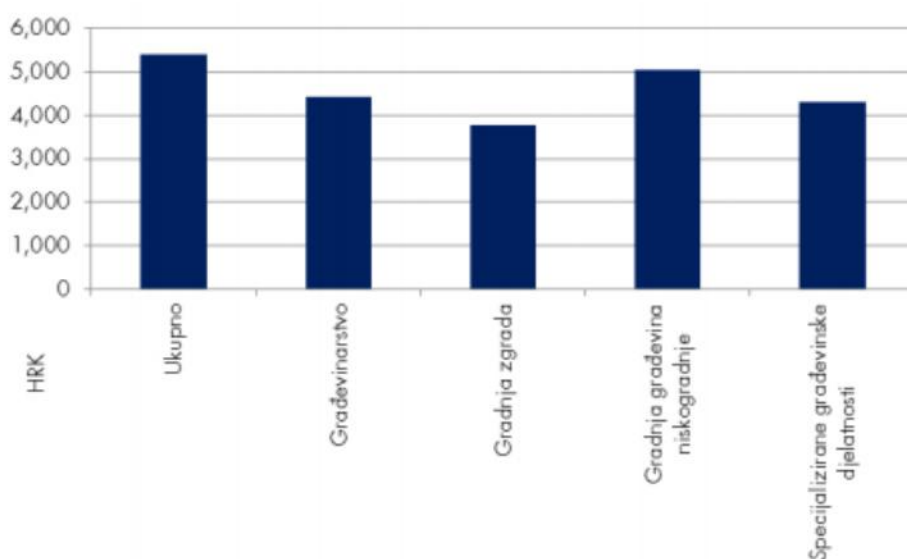


Izvor: DZS, Raiffeisen istraživanja

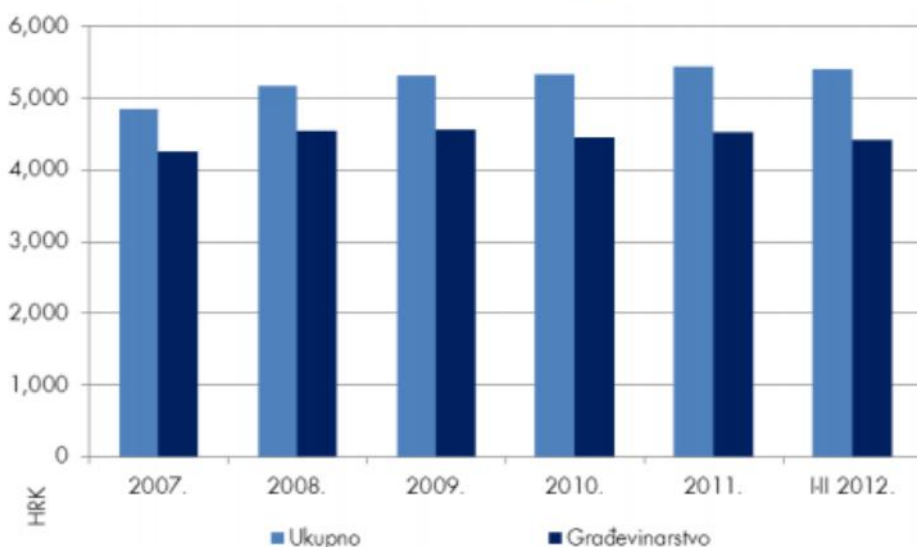
Prosječne neto plaće isplaćene u građevinskom sektoru u nominalnom iznosu bilježe uzastopni godišnji rast. Promatrano od 2008. (kada je zabilježena najviša stopa rasta od 6,1% godišnje) do prošle godine prosječna stopa rasta iznosila je oko 1,9%. Tako je u 2011. godini prosječna isplaćena

neto plaća po zaposlenom u građevinarstvu iznosila 4,522 kune što je za oko 18% niže od ukupne prosječne isplaćene plaće u RH (5.441 kuna). Razlika između prosječne isplaćene neto plaće ukupno i isplaćene u građevinarstvu tijekom proteklih godina se intenzivirala te je tako npr. u 2007. ta razlika iznosila oko 12% u korist ukupne prosječne neto plaće da bi se do danas povećala za još dodatnih 6 postotnih bodova. Navedeno je posljedica uglavnom lošije obrazovne strukture zaposlenih u građevinarstvu. Strukturu zaposlenih u građevinarstvu uglavnom čine NKV i SSS radnici. Međutim korigiramo li nominalni rast prosječnih isplaćenih neto plaća u građevinarstvu s prosječnom godišnjom stopom inflacije vidjet ćemo da u realno prosječne neto plaće do 2009. bilježile blagi rast ispod 1% godišnje dok su u posljednjih nekoliko godina zapravo bilježile pad od 0,5% godišnje. Pri tome su najviše neto plaće isplaćene u segmentu gradnje građevina niskogradnje dok su najniže plaće zabilježene u segmentu gradnje zgrada. [6]

Visina prosječne isplaćene neto plaće (H-I 2012, pr.)



Izvor: DZS

Visina prosječne isplaćene neto plaće ukupno i u građevinarstvu

Izvor: DZS

S obzirom da je u konačnici nastupilo smanjenje plaća (ako se uzme u obzir i poskupljenje ostalih životnih troškova uslijed inflacije i ako se ta plaća uspoređi s rastom plaća u ostalim granama gospodarstva) u građevinarstvu, te sve nesigurnija situacija po pitanju građevinskih radova a samim time i isplata plaća i opstanka radnih mjesta, može se naslutiti da radnici u građevinarstvu svoje nezadovoljstvo iskazuju padom produktivnosti na poslu.

5. Radne poveznice u građenju

Potražnja na tržištu uvelike varira, često u kratkim periodima i sa nejednolikom geografskom raspodjelom. Čak i kada je opseg građenja relativno ujednačen, nekim poslovima se umanjuje vrijednost dok drugi poslovi dobivaju na vrijednosti. Pod nestabilnim ekonomskim okruženjem, poslodavci u građevinskoj industriji daju veliku važnost u zapošljavanju i otpuštanju radnika s obzirom da obujam njihovog posla vrlo varira u vremenu. U drugu ruku, građevinski radnici osjete nesigurnost pod takvim uvjetima te teže tomu da ograniče utjecaj ekonomskih uvjeta kroz organizaciju rada.

U izgradnji je zastupljen veliki broj različitih struka, ali izvođači najčešće zapošljavaju samo dio tih struka koje zadovoljavaju njihove specijalizirane potrebe u izvođenju radova. Zbog osebnih karakteristika uvjeta pri zapošljavanju, poslodavci i radnici su postavljeni u intimniji odnos nego u ostalim industrijama. Sporazumi radnika i uprave u graditeljstvu uključuju sindikalne i nesindikalne zahvate kojima se natječu za bolju poziciju u budućnosti. Moguće su dramatične promjene. Na primjer, udio članova sindikata u Australiji u graditeljstvu se smanjio sa 42% u 1992. na 26% u 2000. godini, što predstavlja pad od gotovo 40% u 8 godina. [3]

5.1. Graditeljstvo s radnicima organiziranim u sindikate

Radnički sindikati rade sa izvođačima radova koristeći sindikalni rad kroz različite tržišne institucije kao što su pravila o nadležnosti, programi osposobljavanja novih radnika, te sustav upućivanja radnika. Radnički sindikati sa posebnim pravilima ovlasti za različite tržišne kategorije imaju postavljene jedinstvene cijene sata rada za radnike koji putuju na posao te nude početnička usavršavanja kako bi pružili jednake vještine za sve radove. Izvođači, preko udruga izvođača, ulaze u kolektivni ugovor sa jednim ili više radničkih sindikata na graditeljskom tržištu. Sustav koji spaja obje strane u kolektivni ugovor je poznat kao „sindikalna trgovina“. Ti sporazumi obvezuju izvođača da obraća pažnju na nadležnosti rada različitih sindikata i da zapošljava radnike preko sindikalnog sistema zvanog „dvorana zapošljavanja“.

Sustavi upućivanja vođeni sindikalnim organizacijama su obvezni pratiti nekoliko uvjeta:

1. Svi kvalificirani radnici prijavljeni u sustav upućivanja moraju biti dostupni izvođaču radova bez diskriminacije na temelju sindikalnog članstva ili neke druge poveznice sa sindikatom. „Zatvorena trgovina“ koja ograničava upućivanje radnika na samo članove sindikata je zakonom zabranjena.
2. Izvođač zadržava pravo zaposliti ili odbiti zaposlenje bilo kojeg radnika upućenog iz sindikata na temelju njegovih ili njenih kvalifikacija i mogućnosti
3. Plan upućivanja mora biti javno objavljen, uključujući sve prioritete upućivanja ili tražene kvalifikacije

Dok ovi principi trebaju prevladati, sustavi upućivanja vođeni radnim organizacijama su ipak vrlo različiti u građevinskoj industriji.

Izvođači i radnički sindikati moraju pregovarati ne samo o visinama plaća i radnim uvjetima, nego i o zapošljavanju i usavršavanju radnika koji se tek priučavaju poslu (vježbenika). Svrha trgovinskih ovlasti je potaknuti prihvatljive investicije u vježbeničkim treninzima na dio sindikata tako da izvođači budu zaštićeni tako što imaju samo kvalificirane radnike koji obavljaju posao čak iako takvi radnici nisu stalno vezani za izvođača te tako mogu imati manjak osjećaja sigurnosti i lojalnosti firmi. Sustav upućivanja je često i brz i pouzdan izvor radnika, posebno za izvođače koji se premještaju na novu geografsku lokaciju ili započinju novi projekt koji ima veliku protočnost (fluktuaciju) u radnim zahtjevima. Uglavnom, sustav upućivanja radnika je funkcionirao bez poteškoća u pružanju kvalificiranih radnika izvođačima, iako su neki drugi aspekti sindikalnih zahvata mnogo lošije prihvaćeni od strane izvođača.

5.2. Građevinski izvođači s radnicima izvan sindikata

U posljednjih nekoliko godina, nesindikalni izvođači su ušli i uspjeli u industriji koja ima dugačku tradiciju sindikata. Nesindikalne aktivnosti u graditeljstvu su označene kao „otvorene trgovine“. Međutim, u nedostatku kolektivnih ugovora, mnogi izvođači rade pod politikom usvojenom od udruga nesindikalnih izvođača. Ta praksa se vodi kao „trgovina zasluga (merit shops)“, koja slijedi ista pravila i procedure kao i kolektivno pregovaranje iako je pod kontrolom udruga nesindikalnih izvođača, bez sudjelovanja sindikata. Ostali izvođači mogu biti „neorganizirani“ tako da ne provode nijednu od navedenih praksi sindikalne trgovine ili trgovine zasluga.

Aktivnosti trgovine zasluga su na nacionalnom nivou, osim za lokalne ili državne programe usavršavanja naučnika. Opsežni planovi udruge izvođača se primjenjuju na sve zaposlenike i struke izvođača. Pod takvim aktivnostima, radnici imaju puna prava zapošljavati se bilo gdje u državi među izvođačima koji su članovi udruge. Međutim, nesindikalni dio industrije je organiziran od strane udruge izvođača u sastavni dio građevinske industrije. Kako su radnici koji pripadaju pod trgovinu zasluga zaposleni direktno od strane građevinskih firmi, oni imaju veću privrženost firmi, te prepoznavaju da će njihov interes i radne aktivnosti utjecati na zdravlje firme za koju rade.

Važnu ulogu u ranom rastu te nastavljenom širenju građevinske trgovine zasluga je imala Udruga izvođača (Contractors association) te Udruženi građevinari (Associated Builders). Od 1987., one su imale broj članova od gotovo 20 000 izvođača te mrežu od 75 poglavlja diljem nacije. Među izvođačima koji su dio trgovine zasluga su velika građevinska poduzeća kao što su Fluor Daniel, Blount International i Brown And Root Construction.

Prednosti trgovine zasluga prema navodima njihovih odvjetnika su:

- sposobnost vođenja vlastite radne snage
- fleksibilnost u donošenju pravovremenih odluka o upravljanju poslovima
- naglasak na iskorištenju maksimuma od lokalne radne snage
- naglasak na poticanje individualnog napretka rada kroz kontinuirani razvoj vještina
- zajednički interes da uprava i radnici imaju u vidu prosperitet firme

Neorganizirani oblik otvorene trgovine je najviše zastupljen u izgradnji stambenih objekata gdje je veliki postotak radnika karakteriziran kao nekvalificirana radna snaga. Kvalificirani radnici u različitim obrtima su postupno napredovali od nekvalificiranog radnika, kao pomoćnici, do kvalificiranog radnika. Ne očekuje se da će se ovakav oblik otvorene trgovine proširiti dalje od vrsta građevinskih projekata u kojima nisu potrebne visoko specijalizirane vještine. [3]

6. Problemi u kolektivnom pregovaranju

U organiziranim građevinskim obrtima u Sjevernoameričkoj građevinskoj industriji, primarna jedinica je međunarodna zajednica, koja je povezana sa lokalnim udrugama u Sjedinjenim Državama i Kanadi. Iako samo međunarodni sindikati imaju pravo donijeti ili ukinuti povelje i organizirati ili kombinirati lokalne udruge, svaka lokalna udruga ima znatan stupanj autonomije donositi samostalno odluke, uključujući i pregovore o kolektivnim ugovorima. Poslovni agent lokalne udruge je izabrani dužnosnik koji je najvažnija osoba u rukovanju svakodnevnim operacijama u ime sindikata. Udruge izvođača koje predstavljaju poslodavce vrlo variraju u sastavu i strukturi, osobito u različitim geografskim područjima. Općenito, lokalne udruge izvođača su primjetno lošije organizirane nego sindikati kojima se bave, ali one se nastoje ojačati kroz pripadnost državnim i nacionalnim organizacijama. Tipično, kolektivni ugovori u građevinarstvu se pregovaraju između lokalnih sindikata u jednom području rada i poslodavcima u tom području rada koje predstavlja udruga izvođača, ali postoje mnoge iznimke. Na primjer, izvođač može biti izvan udruge izvođača i pregovarati samostalno sa sindikatom, ali obično ne može postići bolji dogovor nego udruga.

Zbog velike raznolikosti u pregovaranjima u kojima sindikati i izvođači mogu birati načine pregovaranja, pojavljuju se mnogi problemi koji proizlaze iz sukoba interesa i drugih uzroka. S obzirom na tradicionalna suparništva različitih obrta te neefikasne organizacije nekih izvođačkih udruženja, u kombinaciji sa nedostatkom adekvatnih mehanizama za rješavanje sporova, neka moguća rješenja tih problema zaslužuju ozbiljnu pažnju: [7]

6.1. Regionalno pregovaranje

Trenutno, zemljopisno područje u kolektivnom pregovornom sporazumu se ne mora poklapati sa teritorijem sindikata i udruženja izvođača u pregovorima. Najveći dio kolektivnih sporazuma se dogovara lokalno, ali su postignuti regionalni sporazumi koji pokrivaju mnogo veću teritoriju u više saveznih država. Uloga nacionalnih sindikalnih pregovarača i predstavnika izvođača u lokalnom kolektivnom pregovaranju je ograničena. Nacionalni sporazum između međunarodnih sindikata i nacionalnih izvođača spaja udruge izvođače i njihove pregovaračke jedinice. Prema tome, reforma koja najviše obećava leži u širenju zemljopisne regije u kojoj vrijedi sporazum u jednoj trgovini bez preklapanja teritorija i ovlasti.

6.2. Poboljšanje pregovaračkih performansi

Iako su obje strane za pregovaračkim stolom odgovorne do neke mjere za uspjeh ili neuspjeh pregovora, izvođači su često odgovorni za slabu učinkovitost u kolektivnom pregovaranju u građevinarstvu tokom prošlih godina zbog toga što su lokalna udruženja izvođača generalno lošije organizirana te imaju manje profesionalno osoblje nego sindikati s kojima pregovaraju. Zakonodavstvo koje predviđa akreditaciju udruženju izvođača kao jedinom pregovaračkom tijelu je sada predviđeno u nekoliko provincija u Kanadi. Tako postoji vladin odbor koji može aranžirati saslušanja te uspostaviti odgovarajuću pregovaračku jedinicu po zemljopisnom području ili sektoru industrije.

7. Upravljanje materijalima

Upravljanje materijalima je važan element u planiranju i kontroliranju projekata. Materijali predstavljaju veliki trošak u građenju, tako da smanjenje nabave ili smanjenje cijene nabave predstavljaju važne prilike smanjenja troškova. Slabo upravljanje materijalima također može rezultirati velikim i nepotrebnim troškovima tijekom građenja. Kao prvo, ako su materijali kupljeni prerano, taj kapital može biti zarobljen te ćemo plaćati kamatu na nastali višak materijala. Još gore, materijalima se mogu pogoršati svojstva tokom skladištenja ili biti ukradeni ako se ne vodi posebna pažnja o njima. Na primjer, električna oprema često mora biti spremljena u voodootpornim mjestima. Drugo, odgode i dodatni troškovi mogu nastati ako materijali za određene aktivnosti nisu dostupni. Prema tome, osiguranje pravovremenog protoka materijala je važna briga voditelja projekta.

Upravljanje materijalima nije briga samo tokom faze praćenja u kojoj se odvija građenje. Odluke o protoku materijala mogu biti zahtjevane i tokom faza planiranja. Na primjer, aktivnosti mogu biti

umetnute u raspored projekta kako bi predstavljale kupovinu važnih stvari kao što su dizala za zgrade. Dostupnost materijala može uvelike utjecati na raspored u projektima gdje se smatra da će se aktivnosti izvršavati brzo ili gdje je rok izvedbe pri kraju: mora biti dostupno dovoljno vremena za nabavu potrebnih materijala. U nekim slučajevima, moraju se uposliti skuplji dobavljači ili prijevoznici kako bi se uštedjelo na vremenu.

Upravljanje materijalima je također i problem organizacije ako se središnja kontrola nabave i stanja materijala koristi za standardne stavke. U tom slučaju, različiti projekti koje provodi organizacija će iznositi zahtjeve središnjoj grupi za nabavu. S druge strane, ta grupa će voditi popis standardnih stvari kako bi smanjila kašnjenje u dobavi materijala ili kako bi se postigla niža cijena prilikom veće i ranije kupovine. Ovaj organizacijski problem upravljanja materijalima je analogan kontroli stanja robe u bilo kojoj organizaciji koja ima konstantnu potražnju za određenim stavkama.

Problemi naručivanja materijala su posebno dobro riješeni sa računalnim sustavima koji osiguravaju dosljednost i cjelovitost kupovnog procesa. U carstvu proizvodnje, korištenje sustava planiranja automatske potražnje materijala je uobičajeno. U tim sustavima, glavni raspored proizvodnje, evidencija zalihe materijala i popisi komponenti materijala su spojene kako bi se odredilo koje stavke moraju biti naručene, kada trebaju biti naručene, te koliko komada svake stavke treba naručiti u kojem vremenskom periodu. Srž ovih proračuna je jednostavna aritmetika: predviđena potražnja za svaki materijal u svakom vremenskom periodu se oduzima od dostupnog inventara. Kada se roba u skladištu potroši, preporuča se nova narudžba robe. Za stavke koje nisu standardne ili se ne drže na stanju, proračun je čak i jednostavniji s obzirom da se u kalkulaciju ne uračunava roba iz inventara. Sa sustavom potraživanja materijala, mnogo detaljnih evidencija je automatizirano te voditelji projekta budu obavješteni kada se treba obaviti neka nabava materijala.

Primjer 1-4: Primjeri prednosti sustava upravljanja materijalima [8]

Iz studije od dvadeset velikih gradilišta, zapažene su slijedeće prednosti iz uvida u sustav upravljanja materijalima:

- U jednom projektu, primjećeno je smanjenje troškova rada od 6% zbog poboljšane dostupnosti materijala potrebnih na gradilištu. Na drugim projektima je zapaženo 8% uštede prilikom smanjene odgode nabave materijala.
- Usporedba dvaju projekata sa i bez sustava upravljanja materijalima otkriva promjenu u aktivnosti sa 1.92 radnih sati po jedinici bez sustava, na 1.14 radnih sati po jedinici sa novim sustavom. Ponovno, veliki dio te razlike se može pripisati pravovremenoj dostupnosti potrebnih materijala.
- Troškovi skladištenja su smanjeni za 50% na jednom projektu sa poboljšanim vođenjem inventara, time uštedivši 92 000 dolara. Kamata za inventar se također smanjila, jedan projekt navodi uštedu novca od 85 000 dolara kao rezultat poboljšanog upravljanja materijalima.

Usprkos ovim raznim prednostima, moraju se uzeti u obzir i troškovi postizanja i održavanja sustava upravljanja materijalima. Međutim, studije upravljanja ukazuju da ulaganja u takve sustave mogu biti vrlo isplative.

8. Nabava i dostava materijala

Za projekte koji koriste mnogo kritičnih resursa, investitor može zahtijevati da se materijal naručuje čak i prije odabira izvođača radova kako bi se izbjegla nestašica toga materijala i samim time kašnjenja radova. Pod uobičajenim okolnostima, izvođač će predati narudžbu trgovinama materijalom koje imaju najbolji omjer cijene i kvalitete određene prema projektantu. Neka preklapanja i premještanja u postupku nabave su neizbježna, ali bi ih se trebalo svesti na najmanju moguću mjeru kako bi se osiguralo da potrebni materijali dođu pravovremeno i u dobrom stanju.

Materijali za isporuku na gradilište i sa gradilišta se mogu grubo podijeliti kao: (1) rasuti (rasipljivi) materijali, (2) standardni materijali sa polica, (3) proizvedene jedinice. Proces isporuke, uključujući prijevoz, skladištenje na terenu te ugradba će biti različiti za ove materijale. Oprema potrebna za rukovanje i vuču materijala ovih klasifikacija će također biti različita. [3]

Rasipljivi materijali su materijali koji su u svojem prirodnom ili poluobrađenom stanju, kao na primjer zemlja koja treba biti iskopana, mokra betonska mješavina, itd. koje se koriste u velikim količinama u gradnji. Neki rasipljivi materijali kao zemlja ili šljunak se mogu mjeriti in situ, na mjestu gdje se iskopaju, te u takvom neiskopanom stanju. Očigledno, količine materijala za isporuku mogu biti vrlo različite kada su izražene u drukčijem stanju volumena, ovisno o karakteristikama takvih materijala.

Standardne cijevi i ventili su tipičan primjer standardnih proizvoda sa police koji se koriste u industrijski kemijskih prerađevina. Budući da se standardni materijali sa police mogu držati uskladišteni, proces isporuke je relativno jednostavan.

Tvornički dijelovi kao čelične grede i stupovi za zgrade su prethodno obrađene u tvornici kako bi se pojednostavila njihova montaža na gradilištu. Vareni ili vijčani spojevi su djelomično prispojeni na elemente koji su vrlo precizno izrezani kako bi što bolje odgovarali. Isto tako, čelični spremnici i posude pod tlakom su često djelomično ili potpuno proizvedeni u tvornici prije nego dospiju na gradilište. U globalu, ako posao može biti izveden u tvornici, gdje su uvjeti rada puno bolji i bolje kontrolirani, preporučljivo je da se tako i rade, te da se takvi dijelovi nakon proizvodnje mogu dostaviti na gradilište u zadovoljavajućem stanju i po razumnoj cijeni.

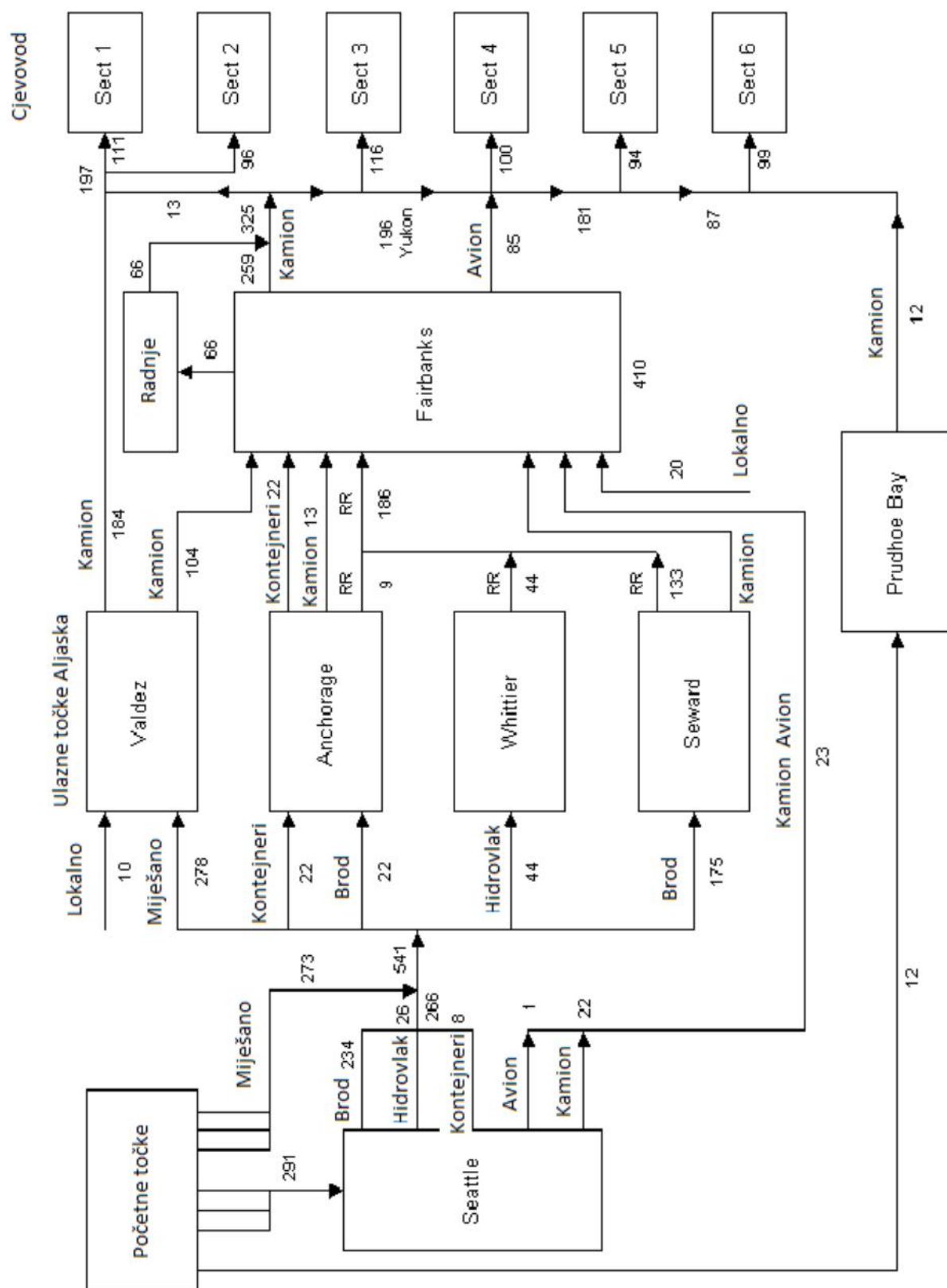
Kao slijedeći korak koji olakšava montažu na gradilištu, cijela površina zida uključujući vodovodne instalacije te instalacije za električnu energiju, ili čak cijela prostorija, mogu biti prethodno napravljeni u tvornici te dostavljeni na gradilište. Dok je rad na terenu time značajno smanjen, „materijali“ za dostavljanje su zapravo gotovi proizvodi sa vrijednošću dodanom od drugačije vrste rada. S modernim sredstvima transporta građevinskih materijala i prethodno obrađenih jedinica, postotci koštanja direktnog rada i materijala u projektu se mogu promijeniti ako bi se više koristile prethodno obrađene jedinice u procesu građenja.

U građevinarstvu, materijale korištene za specifičnu građevinsku struku uglavnom koriste radnici same te struke, a ne svi radnici općenito. Dakle, električari koriste materijale namijenjene za korištenje električne energije, postavljači cijevi koriste cijevi, i tako dalje. Budući da izvođači uobičajeno nisu u prijevoznikom poslu, oni nisu učinkoviti u poslovima isporučivanja materijala. Ti čimbenici imaju tendenciju da pogoršaju već postojeće probleme dostavljanja materijala i jedinica u vrlo velikim projektima.

Primjer 1-5: Dostava tereta za projekt Aljaškog cjevovoda [9]

Sustav dostave tereta za Aljaški cjevovod je osmišljen kako bi mogao dostaviti 600 000 tona materijala i različitih pomagala. Ova tonaža nije uključivala same cijevi koje su bile teške dodatnih 500 000 tona, te su bile dostavljene drugim sustavom ruta.

Kompleksnost ovog sustava dostave je ilustriran u slici 1-2. Pravokutne kutije označavaju zemljopisne lokacije. Točke porijekla predstavljaju tvornice i postrojenja diljem Sjedinjenih Država i drugdje. Neki od materijala su išli na primarno odlagalište materijala u Seattleu a neki su išli direktno u Aljasku. Bilo je 5 mogućih ulaza: Valdez, Anchorage, Whittier, Seward te uvala Prudhoe. Također je postojalo i sekundarno odlagalište u Fairbanksu i sami cjevovod je bio podijeljen u šest sekcija. Iza rijeke Yukon nije bilo ništa osim makadama za vuču tereta. Količine tereta mjerene u tisućama tona dostavljane od i na različite lokacije su prikazane brojevima na granama mreže (sa strijelicama koje označavaju tok materijala) te načini transporta koji su označeni iznad grana. U svakoj od lokacija, izvođač je imao nadzor i građevinske radnike koji su prepoznavali materijale, iskrcavali sa transportnog vozila, određivali gdje određeni materijal treba ići, ako je nužno, prepakiravali materijal koji je trebao od tog mjesta ići dalje u više različitih pravaca, te na kraju ponovno ukrcavali materijale na prijevozno sredstvo koje je dalje vozilo te materijale na iduće odredište.



Slika 1-2: Dostava tereta za projekt Aljaškog cjevovoda [3]

Primjer 1-6: Proces nabave opreme za postrojenje [10]

Nabava i dostava materijala kao što su cjevovodi, električna oprema i strukturalni elementi uključuje niz aktivnosti ako ti materijali nisu standardni u trgovinama građevinskim materijalom. Vrijeme potrebno za različite aktivnosti u nabavi tih materijala se može procijeniti na slijedeći način:

Aktivnosti	Trajanje (dani)	Kumulativno trajanje
Zahtjev od projektanta	0	0
Odobrenje vlasnika	5	5
Upit poslan dobavljačima	3	8
Odgovor dobavljača	15	23
Kompletna procjena ponude projektanta	7	30
Odobrenje vlasnika	5	35
Nalog kupovine	5	40
Primitak preliminarne projekata	10	50
Prihvatanje završnog projekta	10	60
Proizvodnja i transport	60-200	120-260

Kao rezultat, ova vrsta nabave opreme će tipično zahtijevati četiri do devet mjeseci. Razlika u cijeni ili kontrakcija u ovom standardnom rasporedu je također moguća, osnovana na utjecajima kao što su produženje dobave materijala zbog pretrpanosti poslom tvornice koja proizvodi navedeni materijal.

9. Kontrola inventara

Jednom kada je roba kupljena, ona predstavlja inventar korišten tokom izgradnje objekta. Opći cilj kontrole zaliha je svođenje ukupnog koštanja inventara na minimum u najvećim kategorijama troškova: (1) troškovi kupovine, (2) troškovi naručivanja, (3) troškovi skladištenja, (4) troškovi nedostupnosti. Ove kategorije troškova su međusobno povezane jer se smanjenjem troškova u jednoj kategoriji može povećati cijena troškova u nekoj od drugih kategorija. Troškovi u svim kategorijama u pravilu podliježu velikoj neizvjesnosti.

9.1. Troškovi kupovine

Kupovna cijena nekog materijala je cijena kupljene jedinice iz vanjskog izvora uključujući transport i dostavu. Za građevinske materijale, uobičajeno je da se dobije popust na velike kupovine, tako da cijena jedinice opada kako broj kupljenih jedinica raste. Prema tome, obično je poželjno obaviti nekoliko kupovina veće količine materijala. U nekim slučajevima, organizacije mogu objediniti male narudžbe materijala u jednu veliku narudžbu kako bi dobili popust na veću količinu naručenog materijala, to je glavni način štednje koji proizlazi iz središnjeg ureda za nabavu.

Cijena materijala je zasnovana na cijenama dobivenim kroz efektivno trgovanje. Jedinične cijene materijala ovise o dogovoru kupca i prodavača, količini materijala i vremenu isporuke. Organizacije sa potencijalom za dugotrajnu kupovinu veće količine materijala mogu ispregovarati bolje cijene. Dok narudžbe u velikim količinama mogu rezultirati manjom krajnjom cijenom, ti materijali također mogu povisiti cijenu skladištenja te tako prouzrokovati probleme u protoku novca. Zahtjevi za kratko vrijeme isporuke materijala također mogu utjecati na jediničnu cijenu proizvoda, tj. povisiti je. Nadalje, karakteristični oblici stavki, kao što su neuobičajene dimenzije tih stavki, treba izbjegavati. Kako takve stavke nisu uobičajeno dostupne u skladištima trgovina, njihova cijena će biti veća.

Cijena transporta je pod utjecajem veličine prijevoznih sredstava i različitim drugim faktorima. Brodarina, u slučaju da je brod pun tereta, često smanjuje cijenu prijevoza te osigurava bržu dostavu, jer nosač može putovati od početne točke do cilja bez stajanja na usputnim stanicama kada je ionako pun tereta. Izbjegavanje korištenja više različitih transportnih sredstava također treba uzeti u obzir jer se tako povećava cijena prijevoza robe. Dok je što niža cijena transporta glavni cilj, treba obratiti pozornost da materijali koji su osjetljiviji prilikom transporta ne budu oštećeni jer ćemo time dobiti puno veće troškove nego da su ti materijali prevoženi skupljim ali „kvalitetnijim“ načinom transporta kojim bi se izbjegla eventualna oštećenja i troškovi ponovne nabave tih materijala.

9.2. Troškovi naručivanja (troškovi narudžbe)

Troškovi naručivanja nekih materijala ili stavki predstavlja administrativne troškove izdavanja kupovnog naloga vanjskim dobavljačima. Troškovi narudžbe uključuju troškove pravljenja zahtjeva za narudžbu, analiziranje drugih dobavljača, pisanje narudžbi za kupnju, primitak materijala, ispitivanje materijala, provjeravanje narudžbi, te vođenje zapisa o cijelom tom procesu. Troškovi naručivanja materijala su uobičajeno samo mali dio troškova ukupnog upravljanja materijalima u procesu građenja, iako naručivanje može zahtijevati mnogo vremena.

9.3. Troškovi skladištenja

Troškovi skladištenja su primarno rezultat kapitalnih troškova, rukovanja, skladištenja, zastarjelosti, skupljanja i propadanja. Kapitalni troškovi rezultat su oportunitetnih troškova ili financijski trošak kapitala vezanog u inventaru. Jednom kada je obavljena isplata za robu, nastali su troškovi posudbe ili kapital mora biti preusmjeren iz drugih produktivnih svrha. Prema tome, nastali kapitalni trošak je jednak vrijednosti inventara tokom perioda pomnožen s kamatom ostvarenom ili plaćenom tokom tog perioda. Treba primjetiti da se kapitalni troškovi akumuliraju samo kada se isplata za materijale izvrši; mnoge organizacije se trude odgoditi plaćanje koliko god mogu kako bi što više umanjile takve troškove. Rukovanje i skladištenje predstavlja troškove micanja i čuvanja tih materijala. Troškovi skladištenja također uključuju i poremećaje uzrokovane drugim aktivnostima iz projekta od strane velikih zaliha materijala koje smetaju. Zastarijevanje je rizik da će predmet izgubiti na vrijednosti zbog promjena u specifikacijama samog tog predmeta. „Skupljanje“ je smanjenje količine nekih materijala u inventaru tokom vremena zbog krađe ili gubitka. Razgrađivanje predstavlja promjenu u kvaliteti materijala zbog proteklog vremena ili razgradnje u okolišu. Mnoge od ovih troškova skladištenja je vrlo teško predvidjeti; voditelj projekta zna samo da postoji određena šansa pojave određene kategorije troškova. Osim ovih glavnih kategorija troškova, mogu postojati još i troškovi dodatnog osiguranja, porezi (mnoge države tretiraju inventar kao vlasništvo na koje se plaća porez), ili dodatna opasnost od požara. Kao općenito pravilo, troškovi skladištenja tipično predstavljaju 20 do 40 posto od prosječne vrijednosti inventara tokom godine; znači ako je prosječna vrijednost materijala u inventaru tokom godine milijun eura, troškovi skladištenja mogu biti okvirno od 200 000 do 400 000 eura. [3]

9.4. Troškovi nedostupnosti

Troškovi nedostupnosti se događaju kada željeni materijal nije dostupan u željenom vremenu. U proizvodnoj industriji, ovaj trošak se često naziva i „stockout“ ili trošak osiromašivanja. Nedostatak materijala može odgoditi rad, a time uzrokovati bezrazložan gubitak radnih resursa ili odgađanje završetka cijelog projekta. Ponovno, može biti teško točno predvidjeti kada će se tražiti neka stvar ili materijal ili kada će se ona moći nabaviti. Dok projektni raspored daje jednu procjenu, tijekom građenja se mogu pojaviti odstupanja od tog rasporeda. Osim toga, troškovi povezani sa manjkom materijala mogu također biti teški za procijeniti; ako materijal korišten za jednu aktivnost nije dostupan, moguće je zaposliti radnike na drugim aktivnostima i, ovisno o tome koje su aktivnosti kritične, projekt ne mora nužno kasniti.

10. Kompromisi troškova u upravljanju materijalima

Kako bi se ilustrirale vrste kompromisa koje se događaju u upravljanju materijalima, pretpostavimo da je određena stvar naručena za projekat. Količina vremena potrebna za procesuiranje naloga i dostave te stvari su nesigurne. Shodno tome, voditelj projekta mora odlučiti koliko će svog vremena uložiti u narudžbu te stvari. Rano naručivanje te samim time dugo trajanje vođenja narudžbe će povisiti šansu da će stvar biti dostupna kada to bude potrebno, ali to povećava cijenu troškova skladištenja te povećava rizik od kvarenja te stvari na gradilištu.

Recimo da je T vrijeme dostave neke stavke, R neka je vrijeme potrebno za procesuiranje narudžbe, i S neka bude vrijeme transporta. Onda, minimalna količina vremena za dostavu stavke je $T = R + S$. Općenito, oboje, i R i S su nasumične varijable; samim time i T je također nasumična varijabla. Kako bi pojašnjenje bilo jednostavnije, mi ćemo uzeti u obzir slučaj kada je procesuiranje narudžbe instantno, tj. $R = 0$. Tada vrijedi da je vrijeme dostave T jednako vremenu transporta S .

Kako je T nasumična varijabla, vjerojatnost da će stvar biti dostavljena na dan „ t “ je prikazana sa vjerojatnošću $p(t)$. Tada, vjerojatnost da će stvar biti dostavljena prije toga dana „ t “ je dana formulom:

$$P_r\{T \leq t\} = \sum_{u=0}^t p(u)$$

1.1.

Ako su a i b donja i gornja granica od mogućeg vremena dostave, očekivano vrijeme dostave je dano formulom:

$$E[T] = \sum_{t=a}^b t[p(t)]$$

1.2.

Vrijeme vođenja L za naručivanje stavke je period prije vremena isporuke, te će ovisiti o kompromisu između troškova nedostupnosti i troškova skladištenja. Voditelj projekta će možda htjeti izbjeći troškove nedostupnosti neke stavke tako što će zahtijevati dostavu željene stavke sa točnim datumom isporuke kada bi se ta stavka trebala koristiti, ili će možda htjeti smanjiti troškove skladištenja prihvaćanjem fleksibilnijeg vremena vođenja osnovanom na očekivanom vremenu dostave. Na primjer, voditelj može napraviti kompromis tako što će točno odrediti da vrijeme vođenja bude za D dana više nego očekivano vrijeme dostave:

$$L = E[T] + D$$

1.3.

gdje D može varirati od 0 do broja dodatnih dana potrebnih za proizvodnju određene stavke za dostavu na željeni datum.

U realnijoj situaciji, voditelj projekta bi se također mogao suočiti sa nesigurnošću kada točno će mu trebati ta određena stavka. Čak iako bi se stavka prema rasporedu trebala koristiti na određeni datum, napredovanje radova može varirati tako da bi željeni datum isporuke te stavke mogao također biti drukčiji od prvoželjenog datuma. U mnogo slučajeva, radni napredak brži od očekivanog rezultira bez uštede vremena u sveukupnom projektnom planu zato što su materijali potrebni za buduće aktivnosti još nedostupni.

Primjer 1-7: Vrijeme vođenja narudžbi bez vremena procesuiranja istih [3]

Tablica 1-1 sažima vjerojatnost različitih vremena dostave za neku stavku. U ovoj tablici, prvi stupac predstavlja moguća vremena transporta (raspon od 10 do 16 dana), drugi stupac prikazuje vjerojatnost da će to vrijeme transporta nastupiti i treći stupac sažima šanse da će stavka stići na ili prije vremena koje je prethodno određeno. Ova tablica se može koristiti za određivanje vjerojatnosti da li će stavka stići na željeni datum za različita vremena trajanja vođenja narudžbe. Na primjer, ako je narudžba izdana 12 dana prije željenog datuma (što znači da je vrijeme vođenja narudžbe 12 dana), onda postoji 15% vjerojatnosti da će stavka stići točno na željeni dan i 35% vjerojatnosti da će stavka stići na ili prije određenog datuma. Treba primjetiti da to implicira da postoji $1 - 0.35 = 0.65$ ili 65% vjerojatnosti da stavka neće doći do željenog datuma sa vođenjem narudžbe u trajanju od 12 dana. Dani su podaci u Tablici 1 – 1, kada bi trebalo naručiti stavku kako bi ona stigla na vrijeme?

Tablica 1-1 Primjeri vremena dostave narudžbi i vjerojatnost dostave u određenom vremenu

Vrijeme dostave t	Vjerojatnost dostave za t dana $p(t)$	Kumulativna vjerojatnost dostave do dana t $\Pr\{T \leq t\}$
10	0.10	0.10
11	0.10	0.20
12	0.15	0.35
13	0.20	0.55
14	0.30	0.85
15	0.10	0.95
16	0.05	1.00

Pretpostavimo da će stavka biti potrebna po rasporedu za 16 dana. Kako bismo bili sigurni da će stavka biti dostavljena do toga dana, narudžba mora biti ispostavljena 16 dana unaprijed. Međutim, očekivani dan isporuke za vođenje narudžbe u trajanju od 16 dana će biti:

$$E[T] = \sum_{t=10}^{16} t[p(t)] =$$

$$= (10)(0.1) + (11)(0.1) + (12)(0.15) + (13)(0.20) + (14)(0.30) + (15)(0.10) + (16)(0.05) = 13.0$$

Dakle, stvarni datum isporuke može biti $16 - 13 = 3$ dana ranije, te ova ranija isporuka vjerojatno neće uzrokovati značajne troškove skladištenja. Voditelj projekta onda može odlučiti uložiti vrijeme u vođenje narudžbe tako da narudžba stigne na dan kada je stavka potrebna sve dok dostupnost te stavke nije kritična. U suprotnom, voditelj projekta može pregovarati sigurniji datum isporuke stavke od strane dobavljača.

11. Građevinska oprema

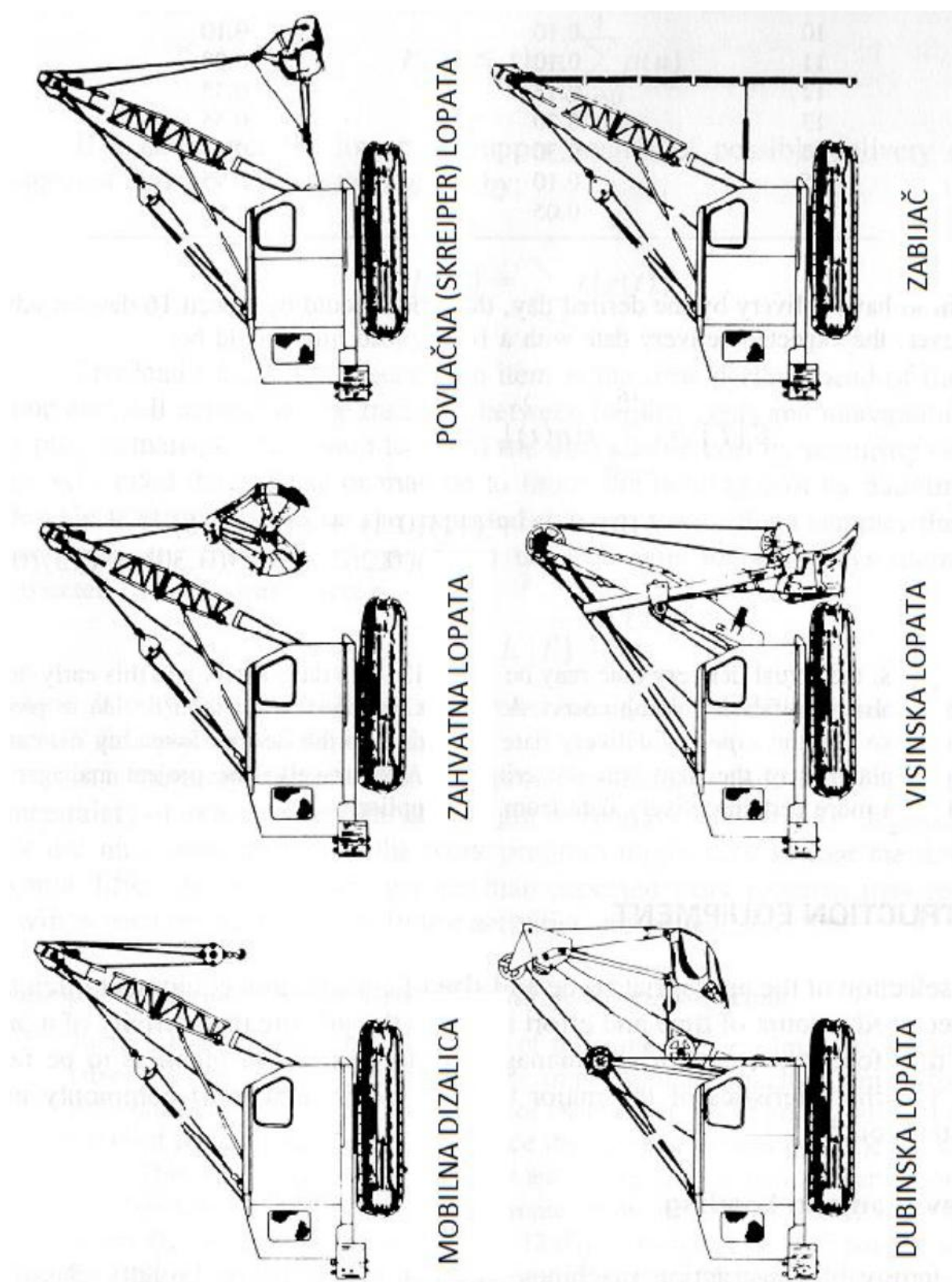
Izbor odgovarajuće vrste i veličine građevinske opreme često utječe na potrebnu količinu vremena i rada te samim time i na gradilišnu učinkovitost toga projekta. Sa tim saznanjem, očito je da je vrlo bitno za nadzornike i planere građenja da budu upoznati sa karakteristikama glavnih vrsta opreme koja se najčešće koristi u građevinarstvu. [11]

11.1. Kopanje i utovarivanje

Jedna vrsta građevinskih strojeva korištena za iskopavanje je široko klasificirana kao kopači- dizalice kako je prikazano na Slici 4-3 koja prikazuje raznovrsnost strojeva. Kopači- dizalice se sastoje od tri glavne komponente:

- nosač ili montažni dio koji pruža mobilnost i stabilnost samog stroja
- rotirajuću palubu ili okretni stol koji sadrži jedinice za rad i kontrolu stroja
- privitak montiran na prednji kraj stroja koji služi za posebne funkcije u radu

Vrste montažnih elemenata za sve strojeve u Slici 1-3 su puzeći montažni elementi, koji su posebno dobri za puzenje preko relativno čvrstih površina na gradilištu. Ostale vrste montaža uključuju kamionsku montažu i montažu kotača koji pružaju veću mobilnost između gradilišta, ali zahtjevaju bolju površinu po kojoj se voze na gradilištu za njihov rad. Rotirajuća paluba uključuje kabinu u kojoj se nalazi osoba koja upravlja montažom i/ili rotiranjem te palube. Vrste privitaka za prednji kraj stroja u Slici 1–3 mogu uključivati dizalicu sa kukom, kliještima, sajlom za vuču, kopačem, lopatom i zabijačem stupaca.



Slika 1-3: Tipični strojevi u vrsti kopača- dizalica

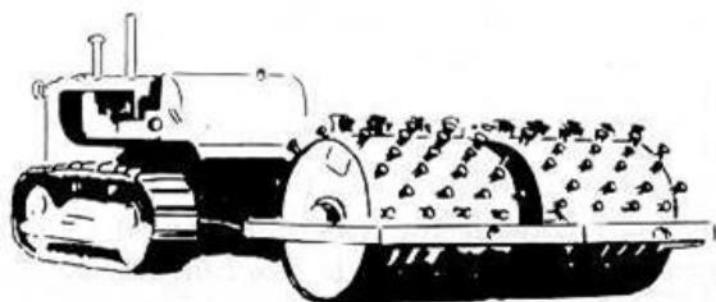
Traktor se sastoji od gusjenica i ne rotirajuće kabine. Kada je priključen nož za micanje tla na prednji kraj traktora, sklop se naziva buldozer. Kada je na prednji kraj pričvršćena košara, sklop se naziva utovarivač ili utovarivač s košarom. Postoje različite vrste utovarivača napravljenih za najučinkovitije rukovanje materijalima različitih težina i vlažnosti.

Skrejperi su višestruke jedinice spojeva od traktora i kamiona, te noževa i košara ili lopata sa različitim kombinacijama kako bi se olakšao utovar i prijevoz zemlje. Glavne vrste skrejpera uključuju jednomotorni dvoosovinski ili troosovinski skrejper, dvomotorni skrejper sa pogonom na svim kotačima, skrejpere sa mogućnosti podizanja, te skrejpere za guranje i vuču. Svaka vrsta ima različite karakteristike otpornosti kotrljanja, stabilnosti pri manevriranju, te brzine rada.

11.2. Zbijanje i planiranje

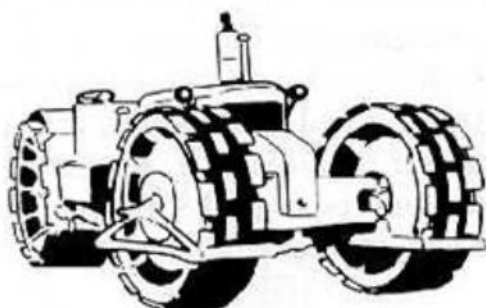
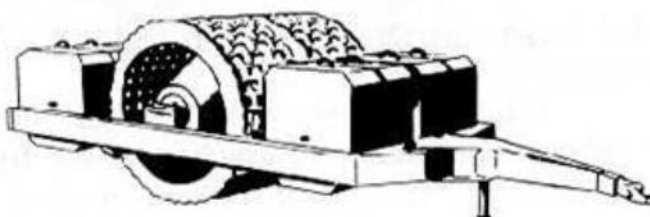
Svrha opreme i strojeva za zbijanje je postizanje veće gustoće u tlu, mehaničkim načinom rada. Osnovne sile korištene u zbijanju su statička težina, gnječenje, udaranje i vibracija. Stupanj kompaktnosti koji se može ostvariti ovisi o svojstvima tla, njegovoj vlažnosti, debljini sloja tla za zbijanje te način zbijanja. Neke glavne vrste opreme za zbijanje su pokazane na Slici 4-4, koja uključuje i valjke sa različitim karakteristikama rada.

Svrha građevinskih strojeva za planiranje materijala je da se zemljani materijal dovede u željeni oblik i visinu. Glavne vrste građevinskih strojeva za planiranje materijala uključuju motorne grejdere i grejdere za potkresivanje. Prvi je svenamjenski stroj za planiranje i finiširanje površina, dok je drugi namjenjen za teške konstrukcije zbog svoje velike brzine rada.



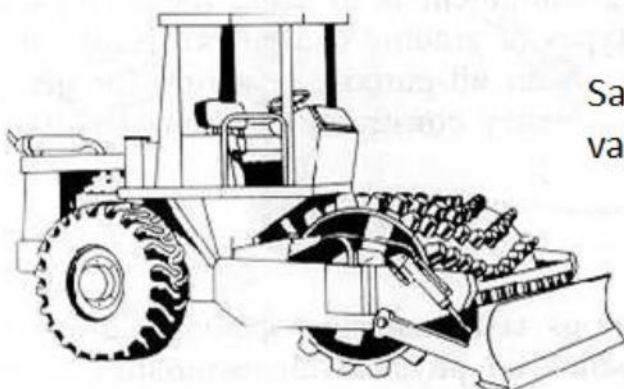
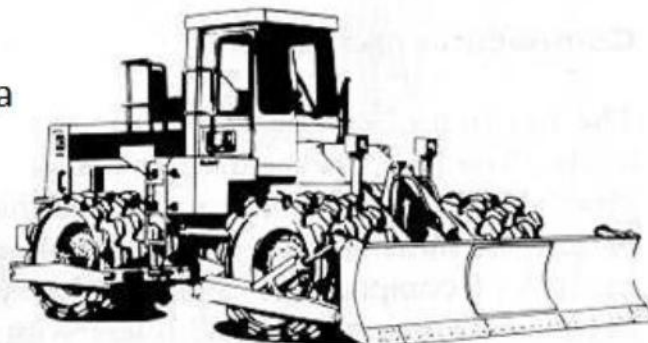
Vučeni valjak "ovčja noga"

Rešetkasti valjak



Samopogonjeni segmentirani valjak s čeličnim kotačima

Samopogonjeni valjak sa stopom za zbijanje



Samopogonjeni vibrirajući valjak sa stopom za zbijanje

Slika 1-4 Neki od glavnih vrsta građevinskih strojeva za zbijanje

11.3. Bušenje i miniranje

Iskop kamena je težak zadatak koji zahtjeva posebnu opremu i metode. Stupanj težine iskopa ovisi o fizičkim karakteristikama vrste kamena koji se iskapa, kao na primjer veličina zrna, ravnina slabosti, vremenske prilike, lomljivost i tvrdoća. Zadatak iskapanja kamena uključuje oslabljivanje stijene, utovar, prijevoz i zbijanje. Proces oslabljivanja stijene je specijaliziran za iskop kamena, te se vrši bušenjem, razaranjem ili kidanjem stijene.

Glavne vrste strojeva za bušenje su bušilice na udar, rotirajuće bušilice, te rotirajuće- udarne bušilice. Udarne bušilice prodire i reže kamen udarom dok se rotira bez rezanja pri vađenju bušilice iz kamena. Učestale vrste udarnih bušilica uključuju pneumatski čekić, stroj koji se drži rukama, te ostale strojeve koji mogu biti montirani na fiksni okvir, na vozilu ili na gusjenicama kako bi se postigla veća mobilnost. Rotirajuća bušilica reže tako da se rotira uz površinu kamena. Rotirajuće- udarne bušilice kombinira obadva načina rezanja kako bi se postigla veća brzina prodiranja u kamen ili stijenu.

Razaranje (miniranje) zahtjeva uporabu eksploziva, a najučestaliji eksploziv namijenjen za tu svrhu je dinamit. Uglavnom, električne kapice za detonaciju su spojene u krug pomoću izoliranih žica. Također postoje i neelektrični sistemi detonacije koji kombiniraju precizno mjerenje vremena i fleksibilnost električnog detoniranja te sigurnost neelektričnog detoniranja.

Riperi montirani na traktor mogu prodrijeti i rastvoriti većinu tipova kamena. Oštrica ili ripper je spojena na podesivi krak koji kontrolira kut na vrhu noža ovisno o tome da li je spušten ili podignut. Automatizirana kontrola ripera može biti postavljena kako bi kontrolirala dubinu i kut prodiranja.

Prilikom kopanja tunela u stijeni mogu se koristiti posebni tunelski strojevi opremljeni sa višestrukim rezačima koji su sposobni iskopati puni promjer tunelske cijevi. Njihova uporaba sve više istiskuje upotrebu tradicionalnih metoda koje uključuju bušenje i miniranje stijene.

11.4. Dizanje i postavljanje

Derik kranovi se najčešće koriste za dizanje opreme za rukovanje materijalom u industrijskoj ili stambenoj izgradnji. Derik kran se sastoji od vertikalnog jarbola i nagnutog stupa koji proizlazi iz podnožja jarbola. Jarbol se drži na poziciji, drže ga radnici ili držači povezani sa bazom. Kuka koja visi sa vrha ukošenog jarbola na sajli se koristi za dizanje tereta. Pomični derik kranovi se mogu vrlo lako micati sa jednog kata na drugi u zgradi koja je trenutno pod izgradnjom dok se učvršćeni derik kranovi mogu montirati na tračnice kako bi se mogli micati unutar gradilišta.

Kranovi tornjevi se koriste za dizanje tereta na velike visine i za olakšanje procesa postavljanja i uspravljanja čeličnih okvirnih nosača. Kranovi tornjevi sa horizontalnom rukom su najčešće korištene dizalice u građenju nebodera. Kranovi tornjevi sa ukošenom rukom se također koriste za podizanje i uspravljanje čeličnih nosača.

11.5. Miješanje i asfaltiranje

Osnovne vrste opreme za asfaltiranje uključuju strojeve za nanošenje betona i bitumenskih materijala za kolničke površine. Mješalice betona se mogu isto koristiti za miješanje portland cementa, pijeska, šljunka i vode u serijama i za druge vrste građenja osim asfaltiranja.

Mikser (kamion) se odnosi na mješalicu montiranu na kamion koja može prevoziti gotov beton od centralnog postrojenja za proizvodnju betona do gradilišta. Mikser za sfaltiranje je samohodna mješalica opremljena spremnikom u koji se stavlja beton na bilo kojoj točki gradilišta neke trase ceste. Može se koristiti kao stacionarna mješalica ili kao opskrbljivač „slipform“ finišera koji su sposobni za širenje, konsolidiranje te finiširanje betonskih ploča bez upotrebe kalupa.

Bitumenski distributer je postrojenje montirano na kamion, služi za spravljanje tekućih bitumenskih materijala te za njihovo postavljanje na površine ceste putem prskala koje je spojeno na kraju kamiona. Bitumenizirani materijali uključuju oboje, asfalt i katran, koji imaju vrlo slična svojstva osim što katran nije topiv u naftnim derivatima. Dok se asfalt najčešće koristi za izvedbu površina cesta, katran se koristi kada se očekuje da će se po toj cesti najvjerojatnije prosipati nafta ili njeni derivati.

11.6. Građevinski alati i ostala oprema

Kompresori zraka i pumpe imaju široku upotrebu kao izvori snage za razne građevinske alate i opremu. Uobičajeni pneumatski građevinski alati uključuju bušilice, čekiće, brusilice, pile, ključeve, pištolje za osigurače, uređaje za pjeskarenje te vibratore za beton. Pumpe se koriste za opskrbu vodom ili za odvođenje vode na gradilištima te za opskrbu vodom za vodene mlaznice za neke vrste građevinskih konstrukcija.

11.7. Automatizacija opreme

Uvođenje nove mehanizirane opreme u građenje je imalo dubok utjecaj na troškove i produktivnost građenja kao i na metode građenja kao takve. Uzbudljiv primjer inovacije ovakve vrste je uvođenje mikroprocesora u alate i opremu. Kao rezultat, izvedba i aktivnost te opreme se može konstantno pratiti te prilagođavati kako bi se unaprijedio rad sa njima. U mnogo slučajeva, automatizacija čak i najmanje bitnog dijela procesa građenja je moguća i poželjna. Na primjer, ključevi koji automatski prate produljenje vijka i primjenjeni moment se mogu programirati kako bi se postigla najbolje čvrstoća tog vijčanog spoja. Prilikom korištenja grejdera, skrejperi kontrolirani laserom mogu napraviti željene rezove brže i preciznije od svih metoda koje se izvode u potpunosti ručno. [12]

Primjer 1-8: Oprema za izvođenje tunela [13]

Sredinom 1980ih, neke japanske firme su bile uspješne u postizanju ugovora za izvođenje tunelskih radova u Sjedinjenim Državama zbog korištenja novih metoda i modernije opreme. Na primjer, japanska firma Ohbayashi je pobijedila na natječaju u San Francisku za izvođenje kanalizacije izričito

zbog svoje napredne tehnologije izvođenja tunela. Kada se tunel buši kroz mekano tlo, kao što je to bio slučaj u San Francisku, u njemu se mora održavati pritisak u vrijednosti od nekoliko atmosferskih pritisaka kako bi se spriječilo njegovo urušavanje. Radnici moraju provesti nekoliko sati u tlačnoj komori prije ulaska u tunel te još nekoliko sati nakon izlaska iz tunela. Oni mogu ostati u tunelu tek tri do četiri sata, cijelo vrijeme pod znatnim rizikom od urušavanja tog tunela ili gušenja. Ohbayashi je koristio novu japansku metodu „ravnoteže pritiska zemlje“, koja eliminira te probleme. Oštrice koje se polako vrte probijaju tunel. Rahlo tlo privremeno ostaje iza oštrice kako bi uravnotežavalo pritisak zbijenog tla sa svih strana. Do tada se postavljaju i spajaju pomoću vodootpornih spojnica prefabricirani betonski dijelovi koji oblikuju tunel. Nakon toga se vadi rahlo tlo koje je ostalo iza oštrice. Ta nova metoda izvedbe tunela je omogućila firmi Ohbayashi da ponudi pet milijuna dolara nižu ponudu od one koju je procijenio inženjer za izvedbu kanalizacije u San Francisku. Firma je završila izvedbu tunela tri mjeseca prije krajnjeg roka. To je dokaz da inovativne ideje koje uključuju nove tehnologije i metode mogu uštedjeti mnogo novca i vremena.

12. Izbor opreme i standarda proizvodnje

Uobičajeno, građevinska oprema se koristi za obavljanje vrlo bitnih repetitivnih operacija, te se može općenito klasificirati po dvjema osnovnim funkcijama: (1) operatori kao dizalice, grejderi i slično, koji ostaju unutar granica gradilišta, te (2) transportna sredstva kao damperi, mikseri i slično, koji prevoze materijale do i sa gradilišta. U oba slučaja, postoji krug radnji koji obavlja svaki od strojeva i opreme kako bi se proizvela jedna jedinica. Na primjer, redoslijed zadataka kran dizalice može biti dizanje i postavljanje zidnog panela (ili paket od 8 zidnih panela) na jednu stranu zgrade; slično tome, redoslijed zadataka miksera može biti utovar, prijevoz, te istovar 3 kubična metra (ili jedna zapremina miksera) svježeg betona.

Kako bi se povećala produktivnost na gradilištu, od presudne je važnosti odabrati opremu sa odgovarajućim karakteristikama te veličinom koja najbolje odgovara za radne uvjete na tom gradilištu. U iskopima u graditeljstvu, za primjer, čimbenici koji utječu na izbor bagera uključuju:

1. **Obujam posla:** Veće količine iskopa zahtijevaju veće bagere, ili manje bagere u većim količinama.
2. **Ograničenja radnog vremena:** Nedostatak vremena za iskop može natjerati izvođače da povećaju broj ili veličinu građevinske opreme i strojeva potrebnih za vršenje iskopa.
3. **Dostupna oprema i strojevi:** Produktivnost iskopnih aktivnosti će se uvelike umanjiti ako su oprema ili strojevi potrebni za izvođenje radova dostupni ali nisu najadekvatniji za tu vrstu radova.
4. **Troškovi prijevoza i opreme:** Ovi troškovi ovise o obujmu posla, udaljenosti prijevoza, te o načinu transporta.
5. **Vrsta iskopa:** Osnovne vrste iskopa u građevinskim projektima su vađenje i/ili zatrpavanje, iskopavanje masiva, te vršenje iskopa za elemente temelja. Najpogodnija oprema za

izvođenje jedne od navedenih aktivnosti nije i najpogodnija oprema za izvođenje ostalih aktivnosti!

6. **Karakteristike tla:** Vrsta i stanje tla su bitni prilikom odabira najpogodnije opreme i strojeva jer svaki stroj i svaka oprema ima drukčiji učinak prilikom iskopa različitih vrsti tla. Štoviše, jedna građevinska jama može imati različite vrste tla na različitim mjestima i dubinama.
7. **Geometrijske karakteristike elemenata na kojima se vrši iskop:** Funkcionalne karakteristike različitih vrsta opreme i strojeva zahtijevaju da se i ovakve okolnosti uzimaju u obzir.
8. **Ograničenja prostora:** Učinkovitost opreme i strojeva je pod velikim utjecajem količine slobodnog prostora oko njih.
9. **Karakteristike prijevoznih sredstava:** Veličina bagera će ovisiti o veličini prijevoznog sredstva ako postoji ograničenje u veličini ili broju tih prijevoznih sredstava.
10. **Lokacija istovarnih područja:** Udaljenost između gradilišta i istovarnih područja može biti bitna ne samo za određivanje vrste i broja prijevoznih sredstava nego i vrsta bagera koji će vršiti iskapanje.
11. **Vremenske prilike i temperatura:** Kiša, snijeg i niske temperature utječu na rad na gradilištu i opremu i strojeve na njemu.

Uspoređivajući različite vrste strojeva za iskapanje, na primjer, bageri sa čeonom lopatom su se pokazali kao najbolji za iskope na povišenom terenu te za iskopavanje na postojećoj iskopini ili na iskopini već započetoj od bagera sa čeonom lopatom; nadalje, oni imaju sposobnost utovarivanja iskopanog materijala direktno u sredstva za prijevoz materijala. Alternativa tomu je korištenje buldozera za iskop materijala.

Izbor vrste i veličine prijevoznih sredstava je osnovan na razmatranju koliki broj teretnih vozila mora biti odabran da bi se mogao odvoziti materijal koji bager iskopa bez zastoja u radu bagera. Utjecajni čimbenici uključuju:

1. **Količina iskopa bagera u vremenu:** Veličina i karakteristike izabranih bagera određuje količinu iskopa u danu.
2. **Udaljenost do mjesta istovara materijala:** Ponekad dijelovi iskopanog materijala mogu biti naslagani u kutu gradilišta za korištenje u potrebi.
3. **Moguća prosječna brzina:** Prosječna brzina teretnjaka do i od mjesta istovara materijala određuje vrijeme trajanja jednog ciklusa za svaki put teretnog vozila.
4. **Obujam iskopanog materijala:** Obujam iskopanog materijala uključujući i vrijeme potrebno da se materijal naslaže, treba odvesti na mjesto istovara što je prije moguće.
5. **Prostorna i težinska ograničenja:** Veličina i težina teretnih vozila ne smije biti pretjerana za kretanje tog vozila na gradilištu te za prijevoz materijala od gradilišta do mjesta istovara, pri tome pazeći na rutu kojom teretno vozilo mora proći.

Kamioni kiperi se uobičajeno koriste kao prijevoz iskopanog materijala pošto se mogu slobodno kretati sa relativno velikim brzinama na gradskim ulicama, kao i na autocestama.

Kapacitet ciklusa C neke opreme ili stroja je određen kao broj izlaznih jedinica po ciklusu rada, pod normalnim radnim uvjetima. Kapacitet je funkcija od izlaznih jedinica korištenih u mjerenju kao i veličina opreme i materijala s kojima se radi. Vrijeme ciklusa T predstavlja vremensko trajanje ciklusa. Standardna stopa proizvodnje R nekog građevinskog stroja ili opreme je određen kao broj izlaznih jedinica po jedinici vremena: [3]

$$1.4 \quad R = \frac{C}{T}$$

Ili

$$1.5 \quad T = \frac{C}{R}$$

Dnevna uobičajena stopa proizvodnje P_e nekog bagera se može dobiti tako da se pomnoži njegova uobičajena stopa proizvodnje P_e sa brojem radnih sati H_e po danu. Tako slijedi:

$$1.6 \quad P_e = R_e H_e = \frac{C_e H_e}{T_e}$$

Gdje su C_e i T_e kapaciteti ciklusa (u jedinicama volumena) te vrijeme ciklusa (u satima) od bagera koji vrši iskop.

U određivanju dnevne standardne stope produktivnosti tegljača (kamiona), obavezno prvo trebamo odrediti vrijeme trajanja ciklusa od udaljenosti D do mjesta istovara te prosječnu brzinu S toga tegljača. Odrediti ćemo da je T_t vrijeme putovanja potrebno za put prema i nazad od mjesta istovara, T_o neka bude vremensko trajanje utovara i T_d ćemo odrediti kao vrijeme potrebno za istovar. Tada će vrijeme potrebno za put u oba smjera biti:

$$1.7 \quad T_t = \frac{2D}{S}$$

Vrijeme utovara je povezano sa vremenom trajanja ciklusa bagera T_e i relativnim kapacitetima C_h te C_e tegljača i bagera. U optimalnom ili standardnom slučaju:

$$1.8 \quad T_o = T_e \frac{C_h}{C_e}$$

Za zadano vrijeme istovara T_d , vrijeme ciklusa T_h tegljača je dano formulom:

$$1.9 \quad T_h = \frac{2D}{S} + T_e \frac{C_h}{C_e} + T_d$$

Uobičajena dnevna stopa produktivnosti P_h nekog tegljača se može dobiti tako da se uobičajena stopa produktivnosti R_h pomnoži sa brojem sati rada H_h po danu. Tako slijedi:

$$1.10 \quad P_h = R_h H_h = \frac{C_h H_h}{T_h}$$

Ovaj izraz podrazumijeva da tegljači počinju utovar odmah čim se vrate sa mjesta istovara.

Broj potrebnih tegljača je također informacija koju trebamo znati. Neka w označava faktor bubrenja tla takvoga da wP_e označava dnevni obujam iskopenih materijala u rastresitom stanju koji proizlazi iz volumena iskopa P_e . Tada je približan broj potrebnih tegljača za odvoz materijala dan izrazom:

$$1.11 \quad N_h = \frac{wP_e}{P_h}$$

Iako je standardna stopa proizvodnje nekog stroja osnovana na „uobičajenim“ ili idealnim uvjetima, produktivnosti strojeva na gradilištima su pod utjecajem stvarnih radnih uvjeta, te raznih neučinkovitosti i obustava rada. Kao jedan primjer, mogu se koristiti različiti čimbenici usklađivanja za računanje stvarnih uvjeta na gradilištu. Ako su uvjeti koji umanjuju stopu produktivnosti označeni sa n faktora $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$, svaki od njih je manji od 1, onda stvarna stopa produktivnosti opreme R' na gradilištu se može povezati sa uobičajenom stopom produktivnosti R , kako slijedi:

$$1.12 \quad R' \approx R F_1 F_2 \dots F_n$$

U drugu ruku, vrijeme ciklusa T' na gradilištu će biti povećano uslijed ovih čimbenika, pokazujući stvarne radne uvjete. Ako bi samo ovi čimbenici bili uključeni, T' je povezan sa uobičajenim vremenom ciklusa T kako slijedi:

$$1.13 \quad T' \approx \frac{T}{F_1 F_2 \dots F_n}$$

Svaki od ovih različitih čimbenika prilagodbi mora biti određen iz iskustva ili prilikom opažanja na samom gradilištu. Na primjer, čimbenik rastresitosti materijala je izveden za rastresite iskope u građevinarstvu jer uobičajena stopa proizvodnje za uobičajeni iskop je umanjena kada bager koji vrši iskope treba imati napravljenu rampu da bi mogao doseći svako dno iskopa te kada se treba napraviti mjesta za tegljač u koji će se utovarati iskopani materijal i koji će odvoziti materijal izvan građevinske jame.

U dodatku problemu određivanja različitih faktora $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$, to također može biti važno za izračun interakcija između čimbenika te točan utjecaj neke određene karakteristike gradilišta.

Primjer 1-9: Dnevna uobičajena stopa produktivnosti bagera za iskope [14]

Bager za iskop sa lopatom kapaciteta jednog kubičnog metra ima uobičajeni operativni ciklus od 30 sekundi. Treba pronaći uobičajenu dnevnu stopu produktivnosti tog bagera.

Za $C_e = 1 \text{ m}^3$, $T_e = 30 \text{ s}$ i $H_e = 8 \text{ h}$, dnevna uobičajena stopa proizvodnje se može izračunati iz izraza:

$$P_e = \frac{(1 \text{ m}^3)(8 \text{ hr})(3,600 \text{ sec/hr})}{30 \text{ sec}} = 960 \text{ m}^3$$

U praksi, naravno, ova će uobičajena stopa produktivnosti biti modificirana uslijed utjecaja raznih neučinkovitosti tokom rada ili proizvodnje, kako je opisano u Primjeru 1-11.

Primjer 1-10: Dnevna uobičajena stopa produktivnosti kiper

Kamion kiper sa kapacitetom od 6 metara kubnih se koristi za istovar iskopanog materijala na mjesto istovara udaljeno 4 kilometra. Prosječna brzina kiper je 30 kilometara na sat, a vrijeme istovara je 30 sekundi. Treba pronaći uobičajenu dnevnu stopu produktivnosti toga kamiona. Ako se flota kamiona kiper istih takvih zapremnina koristi za istovar iskopanog materijala u Primjeru 1-9, 8 radnih sati po danu, treba odrediti broj kiper potrebnih na dnevnoj bazi, ako pretpostavimo da je faktor bubrenja tla 1.1.

Uobičajena dnevna stopa produktivnosti toga kamiona kiper se može dobiti koristeći jednadžbu (1.7) kroz (1.10):

$$T_t = \frac{(2)(4\text{km})(3,600 \text{ sec/hr})}{(30\text{km/hr})} = 960 \text{ sec}$$

$$T_o = (30 \text{ sec}) \left(\frac{6 \text{ m}^3}{1 \text{ m}^3} \right) = 180 \text{ sec}$$

$$T_h = 960 + 180 + 30 = 1,170 \text{ sec}$$

Time je dnevna produktivnost kamiona:

$$P_h = \frac{(6 \text{ m}^3)(8 \text{ hr})(3,600 \text{ sec/hr})}{(1,170 \text{ sec})} = 147.7 \text{ m}^3$$

Konačno, iz jednadžbe (1.12.), broj potrebnih kamiona kiper je:

$$N_h = \frac{(1.1)(960 \text{ m}^3)}{147.7 \text{ m}^3} = 7.1$$

Što će reći da nam je potrebno 8 kamiona kiper kako bismo izvršili zadani zadatak.

Primjer 1-11: Produktivnost bagera na gradilištu

Bager sa lopatom zapremnine jednog kubičnog metra (iz primjera 1-9) ima uobičajenu stopu produktivnosti od 960 kubičnih metara za osmosatno radno vrijeme. Treba odrediti produktivnost na gradilištu i stvarno trajanje ciklusa ovog bagera pod radnim uvjetima na gradilištu koji utječu na njegovu učinkovitost kako je prikazano:

Radni uvjeti na gradilištu	Faktori
Rahli sastav	0.954
Svojstva tla i sadržaj vode	0.983
Neiskorištenje opreme tokom pauze	0.8
Efikasnost upravljanja	0.7

Koristeći Jednadžbu (1.11.), produktivnost tog bagera na gradilištu po danu je:

$$P'_e = (960\text{m}^3)(0.954)(0.983)(0.8)(0.7) = 504 \text{ m}^3$$

Stvarno trajanje ciklusa se može odrediti kao:

$$T'_e = \frac{(30 \text{ sec})}{(0.954)(0.983)(0.8)(0.7)} = 57 \text{ sec}$$

Ako pogledamo Jednadžbu (1.6.), stvarno trajanje ciklusa se također može dobiti iz relacije $T'_e = (C_e H_e) / P'_e$. Tako slijedi:

$$T'_e = [(1 \text{ m}^3)(8\text{hr})(3600 \text{ sec/hr}) / 504 \text{ m}^3] = 57 \text{ sec}$$

Primjer 1-12: Produktivnost kamiona kiper

Kamion kiper sa kapacitetom sanduka od 6 kubičnih metara (iz primjera 1-10) se koristi za odlaganje iskopanog materijala. Udaljenost do mjesta odlaganja materijala je 4 kilometra te je prosječna brzina kamiona 30 km/h. Produktivnost bagera na gradilištu po danu (iz Primjera 1-11) je 504 kubičnih metara, koji se modificiraju sa faktorom bubrenja tla od 1.1. Jedini utjecajni čimbenici na produktivnost kamiona kiper na gradilištu osim onih koji utječu i na bager su 0.80 za vrijeme neaktivnosti stroja i 0.70 za učinkovitost upravljanja strojem. Treba odrediti produktivnost kamiona kiper na gradilištu. Ako je flota takvih kamiona korištena za prijevoz iskopanog materijala, treba odrediti koliko je korišteno takvih kamiona po danu.

Stvarno vrijeme trajanja ciklusa T'_h kamiona kiper se može dobiti zbrajanjem stvarnih vremena za putovanje, utovar i istovar iz kamiona:

$$T'_t = \frac{T_t}{F_1 F_2} = \frac{(2)(4 \text{ km})(3,600 \text{ sec/hr})}{(30 \text{ km/hr})(0.8)(0.7)} = 1,714 \text{ sec}$$

$$T'_o = \frac{T'_e C_h}{F_1 F_2 C_e} = \left(\frac{57 \text{ sec}}{(0.8)(0.7)} \right) \left(\frac{6 \text{ m}^3}{1 \text{ m}^3} \right) = 611 \text{ sec}$$

$$T'_d = \frac{T_d}{F_1 F_2} = \frac{30 \text{ sec}}{(0.8)(0.7)} = 54 \text{ sec}$$

Shodno tome stvarno vrijeme ciklusa je:

$$T'_h = T'_t + T'_o + T'_d = 1,714 + 611 + 54 = 2,379 \text{ sec}$$

Produktivnost kamiona kiper P'_h na gradilištu po danu je:

$$P'_h = \frac{C_h H_h}{T'_h} = \frac{(6 \text{ m}^3)(8 \text{ hr})(3,600 \text{ sec/hr})}{2,379 \text{ sec}} = 72.6 \text{ m}^3$$

Broj potrebnih kamiona dnevno je:

$$N'_h = \frac{wP'_e}{P'_h} = \frac{(1.1)(504 \text{ m}^3)}{72.6 \text{ m}^3} = 7.6$$

Što znači da je potrebno 8 kamiona kiperi.

13. Procesi građenja

U prethodnim poglavljima opisani su glavni inputi rada, materijala i opreme potrebne za izvedbu građevinskog procesa. Na različitim razinama detaljnosti, voditelj projekta mora osigurati da su ovi inputi efektivno koordinirani kako bi se ostvario učinkoviti građevinski proces. Ta koordinacija uključuje dvije stvari, strateško odlučivanje i taktično vođenje radova na gradilištu. Na primjer, strateške odluke o odgovarajućim tehnologijama i rasporedu gradilišta su često napravljene tijekom procesa planiranja građenja. Tijekom postupka građenja, voditelj radnika i voditelji gradilišta donose odluke o poslu koji treba biti obavljen u određeno vrijeme dana ovisno o tome koji su potrebni resursi dostupni za rad, materijale ili građevinsku opremu i strojeve. Bez koordinacije među ovim nezaobilaznim inputima, proces građenja će biti neučinkovit ili će s vremenom stati.

Primjer 1-13: Montaža čelika

Montaža konstrukcijskog čelika za zgrade, mostove ili druge građevine je primjer građevinskog procesa koji zahtjeva znatnu koordinaciju. Montažni čelični komadi moraju stići na gradilište u točno određenom redoslijedu i količini za planirane radne aktivnosti toga dana. Skupine radnika na čeličnim konstrukcijama moraju biti sposobne za postavljanje montažnih elemenata na predviđen način, spajanje spojnica, te za izvođenje potrebnih varova na konstrukciji. Dizalice i radnici koji upravljaju njima imaju zadatak da podignu montažne elemente na predviđeno mjesto; ostale aktivnosti na gradilištu također mogu zahtijevati uporabu dizalica. Oprema za zavarivanje, ključevi za vijke i ostali ručni alati moraju biti spremni onog trena kada njihova uporaba bude potrebna. U konačnici, potrošni materijali kao što su vijci odgovarajuće veličine također moraju biti dostupni.

U koordiniranju procesa kao što je postavljanje čeličnih elemenata, uobičajeno je različitim skupinama radnika zadati različite radne zadatke. Na primjer, jedna skupina radnika može postavljati elemente te u njih umetati vijke i spojnice u određenom području. Slijedeća skupina može biti zadužena za dovršavanje spojeva, a treća skupina može izvesti potrebne zavare na konstrukciji ili postavljanje konstrukcija odjeljaka za elemente kao što su pregradni zidovi.

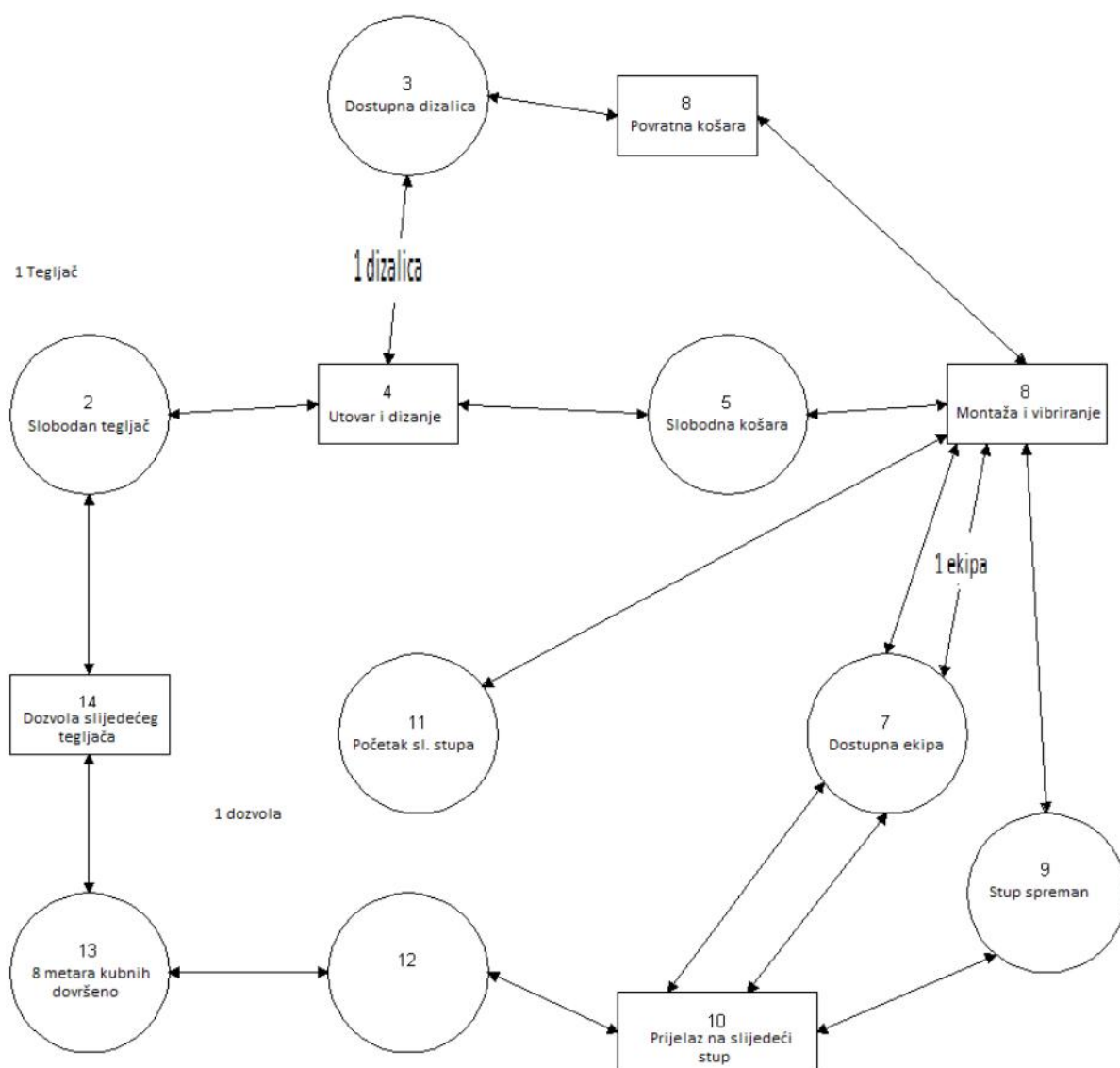
Uz potrebnu koordinaciju između tih sredstava, vrlo je lako vidjeti kako loše vodstvo projekta ili neki drugi problemi mogu rezultirati primjetnom neučinkovitošću. Na primjer, ako transport montažnog čelika nije pripremljen na zadovoljavajući način, radne skupine i oprema na gradilištu moraju čekati na dolazak odgovarajućih elemenata dok pristigli elementi nisu još namijenjeni za postavljanje i montažu.

Primjer 1-14: Simulacijski modeli građevinskih procesa

Računalna simulacija građevinskih radova može biti koristan, no i mukotrpan alat u analiziranju učinkovitosti pojedinačnih procesa ili tehnologija. Ovi alati nastoje biti orijentirani prema modeliranju resursnih procesa ili prema prikazivanju prostornih ograničenja te kretanja resursa. Proces koji

uključuje umetanje betona unutar postojećeg kalupa za stupove nove konstrukcije. Kombinacija dizalice sa korpom kapaciteta jednog kubičnog metra i fleksibilna takozvana „slonova surla“ su pretpostavljeni za plasiranje. Beton je dostavljen u kamionima kapaciteta osam kubičnih metara. Zbog ograničenja gradilišta, samo jedan kamion se može odjednom postaviti u poziciju dostave. Građevinski radnici i električni pervibratori za beton su također predviđeni kao potreba u navedenom procesu. [15]

Model simulacije ovog procesa je ilustriran na Slici 1-5. Čvor 2 signalizira dostupnost miksera sa betonom koji dolazi iz betonare. Kao i sa ostalim kružnim čvorovima u Slici 1-5, dostupnost kamiona može rezultirati da kamion mora čekati u redu za uporabu materijala koji prevozi. Ako su kamion (čvor 2) i dizalica (čvor 3) oboje slobodni za uporabu, onda se dizalica može utovarati i podizati korpe betona (čvor 4). Kao i kod drugih pravokutnih čvorova u ovom modelu, izvođenje ove stavke će potrajati duži period vremena. Na završetku utovara i dizanja, korpa (čvor 5) je dostupna za ugrađivanje betona. Ugrađivanje je izvedeno tako da je postavljen jedan radnik koji navodi korpu s betonom između oplata te drugi radnik koji ima zadaću istresanja betona iz korpe u oplatu. Treći radnik radi sa pervibratorom u betonu dok korpa (čvor 8) ide nazad kako bi se ponovno napunila. Jednom kada je ugrađivanje betona završeno, ekipa radnika postaje slobodna za ugrađivanje betona na drugom mjestu sa novim punjenjem korpe (čvor 7). Nakon što su iskorištene dvije korpe materijala, stup je završen (čvor 9) te oprema i radna skupina mogu prijeći na izradu idućeg stupa (čvor 10). Nakon što je premještanje opreme i radnika do drugog stupa obavljeno, ugrađivanje betona za drugi stup može početi (čvor 11). Konačno, nakon što je mikser sa betonom ispražnjen (čvor 12 i čvor 13), prazan kamion odlazi te može doći novi kamion na mjesto za istovar betona (čvor 14) ako ga ima.



Slika 1-5: Prikaz simulacijskog modela ugrađivanja betona [15]

Primjena simulacijskog modela sastoji se od praćenja tokom vremena potrebnog za različite operacije. Događaji su također simulirani, kao na primjer dolasci miksera na gradilište. Ako su uvedeni nasumični elementi, potrebne su za izračun mnogobrojne simulacije kako bi se odredila stvarna produktivnost i potrebni resursi za taj proces. Na primjer, jedna simulacija ovog procesa koja koristi četiri miksera pokazuje da mikser čeka 83% vremena sa prosječnim vremenom čekanja od 14 minuta. Ova vrsta simulacije se može koristiti za određivanje različitih prilagođavanja čimbenika produktivnosti opisanih u prethodnim poglavljima.

14. Redovi čekanja i pomanjkanje materijala

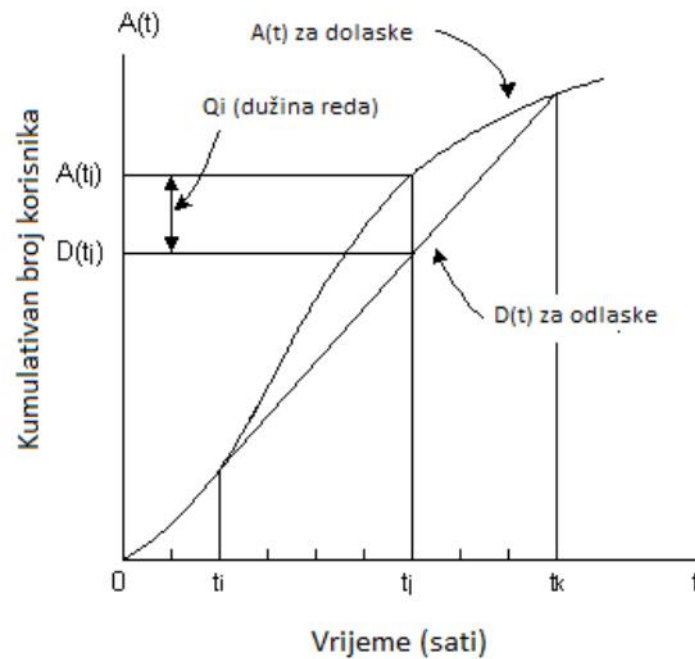
Voditelj projekta mora osigurati da resursi potrebni za različite brojne aktivnosti budu adekvatni. Problemi u ovom području mogu se pokazati u tome što za neke resurse koji su potrebni za izgradnju objekta postoje redovi narudžbi koji se moraju čekati. „Red“ narudžbe može biti linija čekanja na uslugu. Možemo zamisliti taj red kao liniju poredanih kupaca koji čekaju u redu za, na primjer, kupnju karata. Međutim, potražnja za uslugom vrlo vjerojatno neće biti tako pravilno uređena. Na primjer, možemo pričati o redovima zavera na gradilištu koji čekaju inspekciju. U ovom slučaju, potražnja ne dolazi do davaoca usluge nego osoba/ inspektor koji pregledava zavare ide od točke do točke gdje su zavari kako bi ih pregledao. Čekanje na resurse kao što su određeni dijelovi opreme ili strojeva ili čekanje na određenog pojedinca je endemski problem na gradilištima. Ako radnici potroše zamjetnu količinu radnog vremena čekajući na određeni alat, materijal ili inspektora koji pregledava radove, troškovi rastu a produktivnost strmomglavo opada. Osiguravanje odgovarajućih resursa koji će služiti očekivanim svrhama je vrlo važan problem tijekom planiranja građenja i upravljanja građenjem.

Općenito, postoji kompromis između vremena čekanja i iskorištavanja resursa. Iskorištenje resursa je udio vremena kada se određeni resurs produktivno koristi. Veće količine iskorištavanja resursa će biti opravdane sve dok to ne nameće neopravdane troškove na cijelu operaciju. Na primjer, inspektor koji pregledava kvalitetu zavera može imati stopostotnu iskoristivost, no radnici na gradilištu mogu trošiti vrijeme na čekanje tog inspektora, čime će im drastično pasti iskoristivost, to jest učinkovitost. Zapošljavanje dodatnih inspektora za pregled zavera može biti isplativije, čak i ako oni nisu uposleni cijelo svoje radno vrijeme.

Nekoliko konceptualnih modela sustava čekanja može biti od pomoći onima koji planiraju građenje, s obzirom na stupanj odgovarajućih sredstava kojih će se pružiti. Prvo, trebamo razmotriti slučaj variranja potražnje tokom vremena i davatelja usluga koji ima konstantnu stopu usluživanja. Ovo može biti situacija za dizalo u kojem velika potražnja za njegovim korištenjem se događa u jutro ili za vrijeme smjena. Drugo, trebali bismo razmotriti situaciju u kojoj zahtjevi za uslugu pristižu nasumično, pri konstantnom stopom davanja usluge. Konačno, trebamo razmotriti i probleme koji uključuju više stanica za pružanje usluge.

14.1. Jedan poslužitelj s determinističkim dolascima i pružanjima usluga

Pretpostavimo da kumulativni broj zahtjeva za pružanje usluge ili „kupaca“ u bilo kojem vremenu t je poznat i jednak vrijednosti funkcije $A(t)$. Ti „kupci“ mogu biti tereti koje treba podići dizalica, inspekcije zavera, ili bilo koja druga određena grupa stavki koja treba biti uslužena. Pretpostavimo dalje da je dostupan jedan poslužitelj koji upravlja tim zahtjevima, kao na primjer jedna kran dizalica ili jedan inspektor za zavare. Za ovaj model čekanja na uslugu, pretpostavljamo da pružatelj usluge može pružati uslugu nekom konstantnom brzinom, najvećom određenom kao x „kupaca“ po jedinici vremena. To je najveća stopa brzine pružanja usluga, dakako poslužitelj može biti i u stanju čekanja kada nema „kupaca“ koji čekaju na uslugu. Taj sustav je deterministički u smislu da obje dolazne funkcije i uslužna procedura nemaju nijednu nepoznatu ili nasumičnu komponentu.



Slika 1-6: Kumulativni odlasci i dolasci u determinističkom redu čekanja

Kumulativna funkcija dolaska korisnika usluge, $A(t)$, je pokazana na Slici 1-6 u kojoj vertikalna os predstavlja kumulativan broj korisnika usluge, dok horizontalna os predstavlja prolazak vremena. Dolazak individualnih korisnika usluge u red zapravo predstavlja skok jedinice u funkciji dolaska $A(t)$, ali ti mali skokovi su aproksimirani sa neprekidnom krivuljom prikazanom na slici. Stopa dolazaka u intervalu jedinice vremena Δt od $t-1$ do t je:

$$1.14. \quad \Delta A_t = A(t) - A(t-1)$$

Dok je sat ili minuta prirodni izbor pri odabiru jedinice vremena, ostali vremenski periodi također mogu biti korišteni ukoliko je prolazak tijeka vremena izražen kao višekratnik takvih vremenskih razdoblja. Na primjer, ako je pola sata korišteno kao interval mjerne jedinice za proces koji uključuje deset radnih sati, onda bi dolasci trebali biti prikazani sa 20 koraka od kojih je svaki trajanja pola sata. Dakle, jedinični interval između $t-1$ i t je $\Delta t = t - (t-1) = 1$, a nagib funkcije kumulativnog dolaska u intervalu je dan formulom:

$$1.15. \quad A'(t) = \frac{A(t) - A(t-1)}{\Delta t} = A(t) - A(t-1)$$

Kumulativni broj korisnika posluženih tokom vremena je prikazan funkcijom kumulativnih odlazaka $D(t)$. Dok je maksimalna stopa usluživanja x usluživanja po minuti, stvarna stopa usluživanja za jedinicu vremena intervala Δt od $t-1$ do t je:

$$1.16 \quad \Delta D_t = D(t) - D(t-1)$$

Nagib funkcije kumulativnih odlazaka je:

$$1.17 \quad D'(t) = \frac{D(t) - D(t-1)}{\Delta t} = D(t) - D(t-1)$$

Kada stopa dolazaka u red čekanja prijeđe maksimalnu stopu brzine posluživanja, onda se stvara red za uslugu te će se stvoriti kumulativni odlasci na maksimalnoj stopi usluge. Kumulativni odlasci iz reda za uslugu će se nastaviti na maksimalnoj stopi uslužnosti od „ x “ „kupaca“ po jedinici vremena, tako da je nagib funkcije od $D(t)$ x tokom tog perioda. Kumulativna funkcija odlazaka $D(t)$ se može lako grafički konstruirati micanjem ravnala niz nagib vrijednosti x , uz funkciju kumulativnih dolazaka $A(t)$. Čim se funkcija $A(t)$ „popne“ iznad ravnala, počinje se stvarati red. Maksimalna stopa uslužnosti će se nastaviti dok ne nestane red, što je prikazano konvergencijom funkcija kumulativnih dolazaka i kumulativnih odlazaka $A(t)$ i $D(t)$.

Sa grafičkim prikazom funkcija kumulativnih dolazaka i kumulativnih odlazaka, mogu se dobiti različiti uslužni pokazatelji kako je i prikazano na Slici 1-6. Recimo da $A'(t)$ i $D'(t)$ označavaju derivate od $A(t)$ i $D(t)$ u respektivnom odnosu prema t . Za $0 \leq t \leq t_i$ u kojem je $A'(t) \leq x$, ne postoji red. Pri $t = t_i$, kada vrijedi $A'(t) > D'(t)$, stvara se red. Onda vrijedi $D'(t) = x$ u intervalu $t_i \leq t \leq t_k$. Kako $A'(t)$ nastavlja rasti sa rastućim t , red čekanja postaje duži otkako stopa uslužnosti $D'(t) = x$ se ne može nositi sa novim dolascima „kupaca“. Dakako, kada opet vrijedi $A'(t) \leq D'(t)$ kako vrijednost t raste, red čekanja postaje sve kraći dok ne dosegne 0 pri $t = t_k$. U bilo kojem danom vremenu t , dužina reda je:

$$1.18. \quad Q(t) = A(t) - D(t)$$

Na primjer, pretpostavimo da se počinje stvarati red u vrijeme t_i te se raspršuje za vrijeme t_k . Maksimalan broj klijenata koji čekaju ili dužina reda čekanja je prikazana sa maksimalnom razlikom između funkcije kumulativnih dolazaka i funkcije kumulativnih odlazaka između t_i i t_k , to jest, maksimalne vrijednosti $Q(t)$. Ukupno vrijeme čekanja na uslugu je pokazano sa ukupnom površinom

između funkcije kumulativnih odlazaka i funkcije kumulativnih dolazaka.

Općenito, stope dolazaka $\Delta A_t = 1, 2, \dots, n$ perioda od procesa, kao i maksimalna stopa uslužnosti x su poznate vrijednosti. Tada se funkcija kumulativnih dolazaka i funkcija kumulativnih odlazaka mogu sustavno konstruirati zajedno s drugim relevantnim količinama kako slijedi:

1. Započevši sa početnim uvjetima $D(t-1)=0$ i $Q(t-1)=0$ pri $t=1$, treba pronaći stvarnu stopu uslužnosti pri $t=1$:

$$\Delta D_1 = \text{minimum} \{x; A_1\}$$

1.19

2. Započevši sa $A(t-1)=0$ pri $t=1$, treba pronaći funkciju kumulativnih dolazaka za $t=2,3,\dots,n$ u skladu s:

$$A(t) = A(t-1) + \Delta A_t$$

1.20

3. Treba izračunati dužinu reda čekanja za $t=1,2,\dots,n$.

$$Q(t) = Q(t-1) + \Delta A_t - \Delta D_t$$

1.21

4. Treba izračunati ΔD_t za $t=2,3,\dots,n$ poslije nego je pronađen $Q(t-1)$ za svaki zadani t :

$$\Delta D_t = \text{minimum} \{x; Q(t-1) + \Delta A_t\}$$

1.22

5. Ako vrijedi $A'(t) > x$, treba pronaći funkciju kumulativnih odlazaka u vremenskom periodu između t_i gdje se formira red čekanja i t_k gdje se red čekanja raspršuje:

$$D(t) = D(t-1) + \Delta D_t$$

1.23

6. Treba izračunati vrijeme čekanja Δw za pridošle klijente koji čekaju na uslugu u intervalu Δt :

$$\Delta w = Q(t)(\Delta t)$$

1.24

7. Treba izračunati ukupno vrijeme čekanja W tokom vremenskog perioda između t_i i t_k .

$$W = \sum_{t=t_i}^{t_k} \Delta w$$

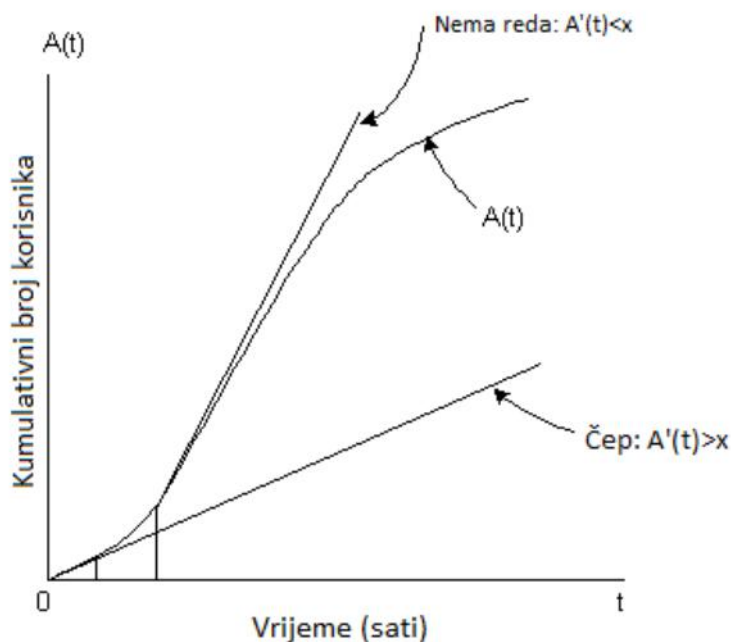
1.25.

8. Treba izračunati prosječno vrijeme čekanja w za pridošle klijente koji čekaju na uslugu u procesu.

$$w = \frac{W}{A(t_k) - A(t_i)}$$

1.26

Ovaj jednostavan, deterministički model ima brojne implikacije za planiranje operacija. Prvo, povećanje u maksimalnoj stopi usluživanja će rezultirati u smanjenju vremena čekanja na pružanje usluge, te će također smanjiti i maksimalnu duljinu reda čekanja. Takva povećanja se mogu ostvariti ubrzavanjem stope usluživanja kao na primjer sa uvođenjem kraćih procedura inspekcija ili brže postavljanje kranova na gradilištu. Drugo, mijenjajući uzorak kumulativnih dolazaka može rezultirati promjenama u ukupnom vremenu čekanja na uslugu i u maksimalnoj duljini reda čekanja. Konkretno, ako maksimalna stopa dolazaka nikada ne prelazi maksimalnu stopu usluživanja, neće se stvarati red čekanja, ili ako stopa dolazaka uvijek prelazi maksimalnu stopu usluživanja, stvarati će se „čep“ kojeg se nećemo moći riješiti. Oba slučaja su prikazana u Slici 1-7.



Slika 1-7: Slučajevi u kojem ne postoji red čekanja i u kojem se dogodio „čep“ u redu

Praktična sredstva za mijenjanje funkcije dolazaka i dobivanje prednosti iz toga je uvođenje sustava rezerviranja za klijente. Čak i bez konstruiranja grafa kakav je prikazan na Slici 1-6, dobri planeri operacija i zahvata bi trebali uzeti u obzir i efekt različitih operacija ili različitih stopa uslužnosti u toku rada. Očito, stope usluživanja (u ovom slučaju izvršavanja posla) koje su manje od očekivane stope dolazaka (u ovom slučaju priljeva posla) će rezultirati zastoјima u poslu.

14.2. Jedan poslužitelj sa nasumičnim stopama dolazaka i konstantnom stopom usluživanja

Pretpostavimo da dolazak klijenata u red nije deterministički određen ili poznat kao na Slici 1-6. Konkretno, pretpostavimo da klijenti, kao što su izvedbe spojeva ili punjenje tereta koji podiže dizalica, izvršavani u nasumičnim intervalima. Koje su implikacije za gladak tok izvedbe aktivnosti? Nažalost, zastoјi u radu i čekanja mogu nastati u ovakvim situacijama čak i ako je maksimalna stopa usluživanja veća od prosječne stope usluživanja ili je ista veća od predviđene stope dolazaka klijenata. To se može dogoditi zato što nasumični dolasci klijenata, to jest zadataka za izvršavanje u ovom slučaju, često mogu doći zajedno u jednom trenutku, što će privremeno nadići kapacitet sustava usluživanja, to jest izvršavanja stavki. Dok je prosječna stopa dolazaka nepromjenjiva tokom vremena, sasvim je moguće privremeni nedostatak potrebnih resursa u takvim okolnostima.

Recimo da je „w“ prosječno vrijeme čekanja, „a“ neka bude prosječna stopa dolazaka klijenata, te „x“ neka bude deterministička konstanta stope uslužnosti (iskazana u klijentima po jedinici vremena). Tada, očekivano prosječno vrijeme za usluživanje klijenta u toj situaciji je dano izrazom: [16]

$$w = \frac{a}{2x^2 \left(1 - \frac{a}{x}\right)}$$

1.27.

Ako je prosječna stopa iskorištenosti usluge određena kao omjer prosječne stope dolazaka i konstantne stope usluživanja, to jest:

$$u = \frac{a}{x}$$

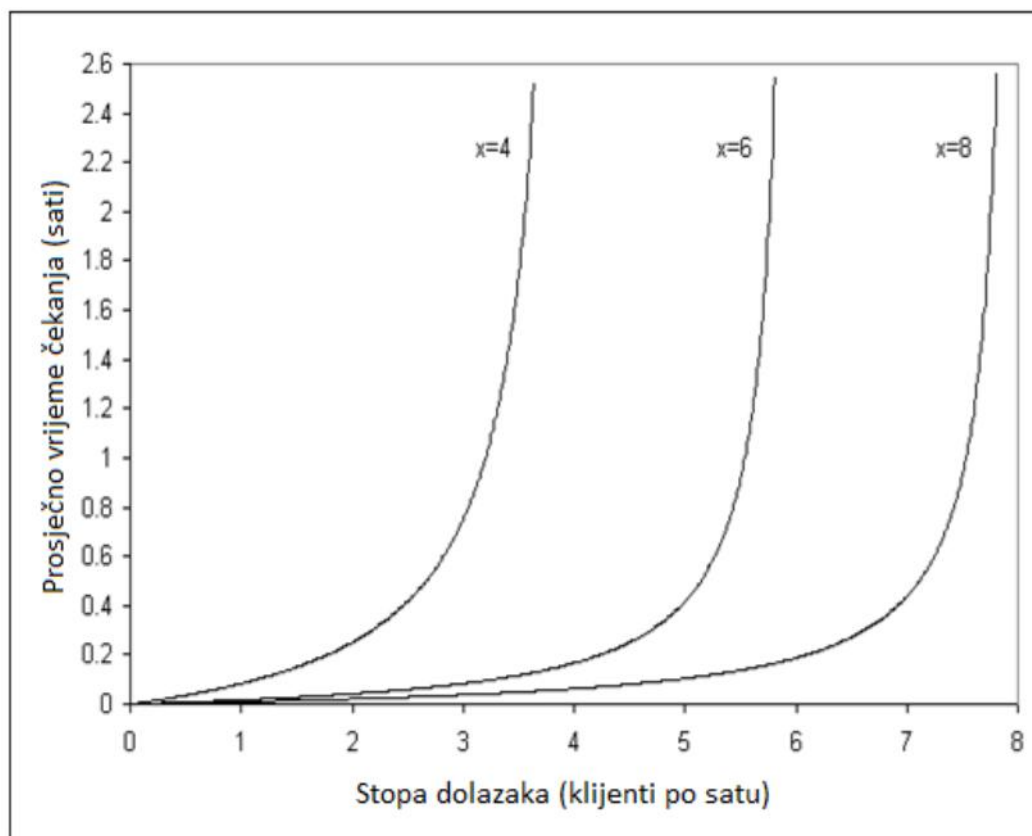
1.28.

Onda jednačba 1.27. postaje:

$$w = \frac{u}{2x(1-u)}$$

1.29.

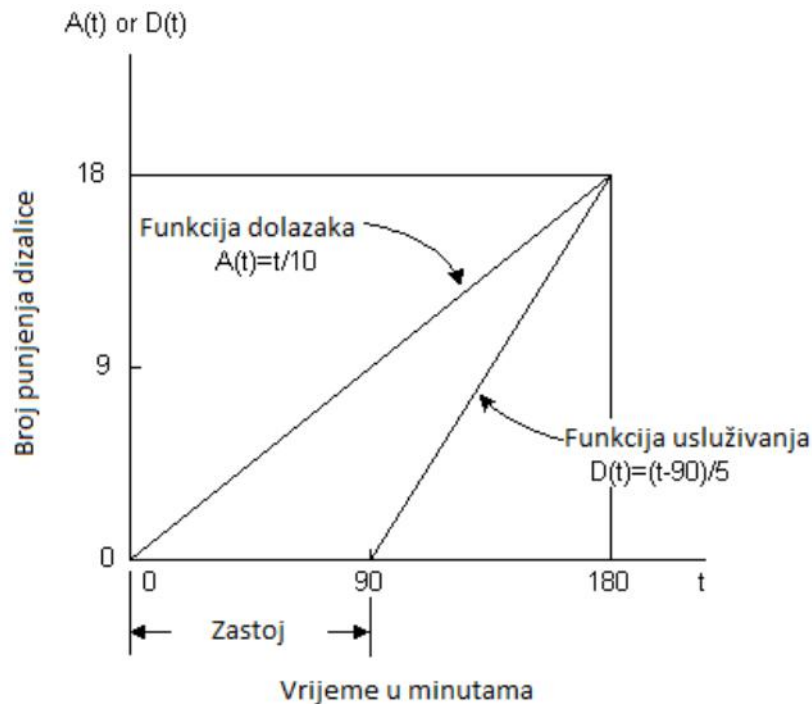
U ovoj jednačbi, omjer „u“ od stope dolazaka do stope usluživanja je vrlo važan: ako se prosječna stopa dolazaka klijenata približi stopi usluživanja, vrijeme čekanja može biti vrlo dugačak period. Ako vrijedi $\geq x$, onda se red čekanja beskonačno povećava. Zastoji sa resursima će se dogoditi zajedno sa nasumičnim dolascima klijenata osim ako nije poduzeta mjera dodatnog kapaciteta usluživanja kako bi se mogli uslužiti nagli dolasci više klijenata odjednom u normalnom toku dolazaka. Slika 1-8 ilustrira vrijeme čekanja koje je dobiveno od različitih kombinacija stopa dolazaka i vremena usluživanja.



Slika 1-8: Ilustrativna vremena čekanja za različite stope prosječnih dolazaka i vremena usluživanja

14.3. Višestruki poslužitelji

Oba od jednostavnih modela učinkovitosti usluživanja koja su prikazana su ograničena na jednog poslužitelja dolazećih klijenata. U planiranju operacija i zahvata, uobičajen je slučaj da postoje brojni dostupni operateri te da postoje brojne faze operacija ili zahvata. U ovim uvjetima, osoba koja planira uobičajeno pokušava uskladiti stope posluživanja koje se događaju u različitim fazama procesa. Na primjer, građenje visoke zgrade uključuje seriju operacija na svakom katu, uključujući postavljanje strukturalnih elemenata, lijevanje ili postavljanje poda, građenje zidova, uvođenje grijanja, ventilacije i klimatizacije, uvođenje kablova električne energije, postavljanje vodovodnih i odvodnih cijevi, i tako dalje. Smireni tok građenja će imati svaku od ovih različitih aktivnosti u izvedbi u istom vremenu na svakoj etaži te zgrade, bez velikih razmaka u vremenu između aktivnosti na nekoj od etaža. Dakle, podovi će biti postavljeni nedugo nakon postavljanja strukturalnih elemenata, zidovi će slijediti nakon toga, i tako dalje. Sa stajališta sustava čekanja, problem planiranja je osigurati da produktivnost ili stopa uslužnosti po etaži od ovih različitih aktivnosti bude otprilike jednaka, tako da jedna skupina ne čeka konstantno na dovršenje prošle aktivnosti ili na kretanje izvedbe slijedeće aktivnosti. U području proizvodnih sustava, stvaranje ove ravnoteže se zove „balansiranje pokretne trake“.



Slika 1-9: Dolasci tereta i posluživanje tereta kranskom dizalicom, te zastoj dizalice [3]

Primjer 1-15: Efekti zastoja dizalice

Pretpostavimo da tereti koje treba dizati dizalica pristižu neprekidnom stopom, jedan teret svakih deset minuta. Dizalica ima kapacitet da prenese jedan teret svakih 5 minuta. Pretpostavimo dalje da se dizalica pokvari na 90 minuta. Koliko je tereta ostalo netransportirano dizalicom, koliki je ukupni vremenski zastoj zbog toga, te koliko će vremena biti potrebno prije nego što dizalica može sustići, te transportirati sve terete koji su zaostali zbog zastoja rada dizalice?

Funkcije kumulativnih dolazaka i uslužnosti su prikazane na Slici 1-9. Počevši sa zastojem u vremenu 0, devet tereta je pristiglo tijekom devedeset minuta zastoja dizalice. Sa Slike 1-9, dodatnih devet tereta pristiže prije nego što je cijeli red poslužen. Algebarski, potrebno vrijeme za vršenje rada t , može biti izračunato napominjanjem da broj dolaznih tereta mora biti jednak broju tereta koji su transportirani. Što znači:

$$A(t) = \frac{t}{10} \text{ for } t \geq 0$$

$$D_1(t) = 0 \text{ for } 0 \leq t \leq 90 \text{ min}$$

$$D_2(t) = \frac{t-90}{5} \text{ for } t \geq 90 \text{ min}$$

Red je formiran u vremenu $t = 0$ zbog zastoja u radu dizalice, ali se raspršava u vremenu $A(t) = D_2(t)$. Slijedi:

$$\frac{t}{10} = \frac{t-90}{5}$$

Iz čega možemo dobiti vrijeme $t = 180 \text{ min}$. S time slijedi:

$$A(180) = D_2(180) = 18 \text{ tereta}$$

Ukupno vrijeme čekanja W se može izračunati kao površina između funkcije kumulativnih dolazaka i funkcije uslužnosti sa Slike 1-9. Algebarski, ovo je praktično izračunato kao razlika u površinama od dvaju trokuta:

$$W = \frac{(18)(180)}{2} - \frac{(18)(90)}{2} = 810 \text{ min}$$

Tako da je prosječni zastoj po teretu $w = 810/18 = 45 \text{ minutes}$.

Primjer 1-16: Vrijeme čekanja sa nasumičnim dolascima aktivnosti

Pretpostavimo da tereti sa materijalom koji se trebaju ispitati dolaze nasumično ali sa prosjekom od pet po satu. Svaki teret zahtjeva deset minuta za pregled, što znači da osoba koja provjerava teret može pregledati u prosjeku šest tereta po satu. Inspekcije se moraju završiti prije nego se teret istovari iz kamiona. Cijena po satu za teret s materijalom koji je na čekanju je 30 dolara, što

predstavlja trošak vozača i trošak rada kamiona. U ovom primjeru, stopa dolazaka „a“ je jednaka pet dolazaka po satu a stopa usluživanja „x“ je jednaka šest tereta sa materijalom po satu. Tada, prosječno vrijeme čekanja bilo kojeg tereta sa materijalom za $u = 5/6$ je:

$$\frac{5/6}{(2)(6) - (1 - 5/6)} = 0.4 \text{ hr}$$

Pri cijeni resursa od 30 dolara po satu, to čekanje će predstavljati trošak od $(30)(0.4)(5) = \$60.00$ po satu na projektu.

U suprotnosti, ko je moguća stopa uslužnosti $x = 10$ tereta sa materijalom po satu, onda će očekivano vrijeme čekanja tereta sa materijalom za $u = 5/10 = 0.5$ biti:

$$\frac{0.5}{(2)(10)(1 - 0.5)} = 0.05 \text{ hr}$$

Što ima cijenu od samo $(30)(0.05)(5) = \$7.50$ po satu.

Primjer 1-17: Odgoda dizanja tereta na gradilištu

Pretpostavimo da je dostupan jedan kran na gradilištu, te da je za svako dizanje i prijenos tereta potrebno tri minute uključujući i vrijeme za povezivanje tereta sa dizalicom prije samoga podizanja toga tereta. Pretpostavimo dalje da kumulativni dolasci tereta koje treba prenijeti dizalicom dolaze u različito vrijeme, kako slijedi:

6:00-7:00	4 po satu
12:00-16:00	8 po satu
7:00-8:00	15 po satu
16:00-18:00	4 po satu
8:00-11:00	25 po satu
18:00-6:00	0 po satu
11:00-12:00	5 po satu

Koristeći gore navedene informacije o dolascima i stopama usluživanja:

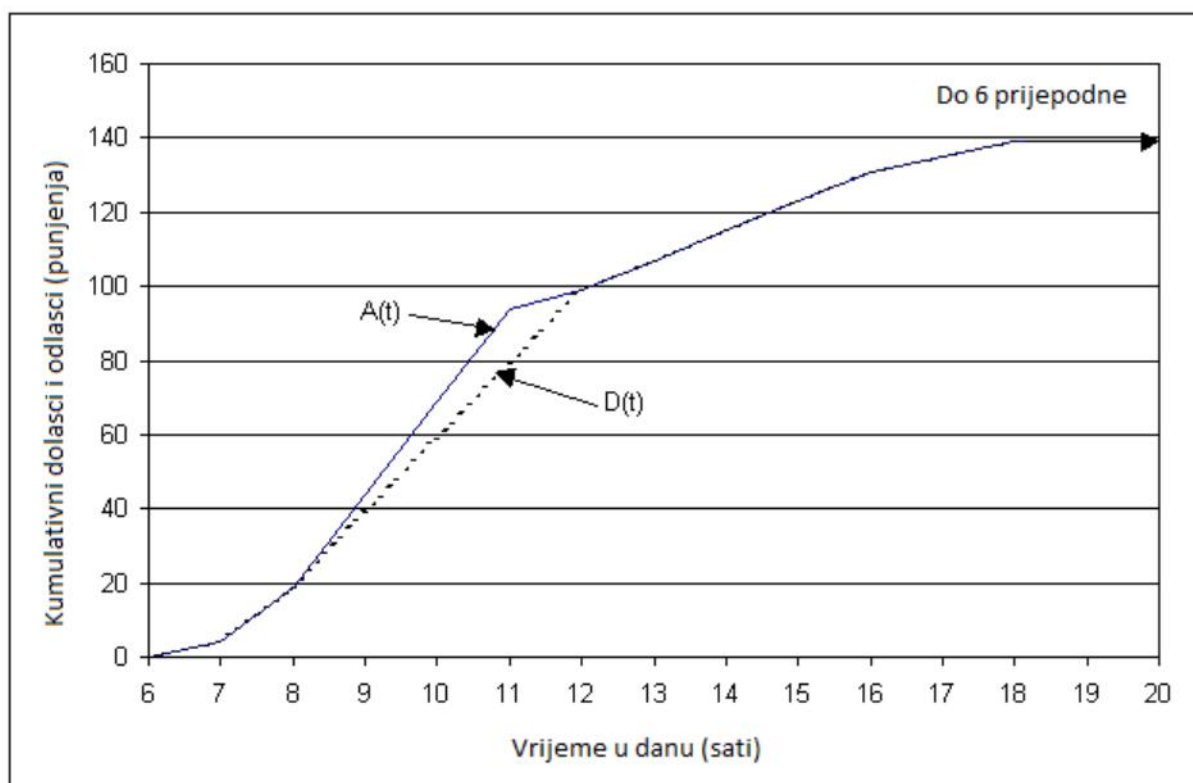
1. Treba pronaći kumulativne dolaske i kumulativan broj tereta koji su preneseni kao funkcija u vremenu, počevši sa 6:00 sati.
2. Treba odrediti maksimalnu duljinu reda čekanja tereta koji čekaju na prijenos. U koje će se vrijeme dogoditi maksimalna duljina toga reda čekanja?
3. Treba odrediti ukupno vrijeme čekanja tih tereta.
4. Grafički će se odrediti funkcije kumulativnih dolazaka i odlazaka.

Maksimalna stopa usluživanja $x = 60 \text{ min} / 3 \text{ min po dizanju tereta} = 20 \text{ dizanja tereta po minuti}$.

Detaljnu računicu ćemo prikazati u Tablici 1-2, a grafički prikaz od $A(t)$ i $D(t)$ je prikazan u Slici 1-10.

Tablica 1-2 Proračun duljine reda čekanja i vremena čekanja

Period	Stopa dolazaka	Kumulativni dolasci $A(T)$	Red čekanja	Stopa odlazaka	Kumulativni odlasci $D(T)$	Vrijeme čekanja
6-7:00	4	4	0	4	4	0
7-8:00	15	19	0	15	19	0
8-9:00	25	44	5	20	39	5
9-10:00	25	69	10	20	59	10
10-11:00	25	94	15	20	79	15
11-12:00	5	99	0	20	99	0
12-13:00	8	107	0	8	107	0
13-14:00	8	115	0	8	115	0
14-15:00	8	123	0	8	123	0
15-16:00	8	131	0	8	131	0
16-17:00	4	135	0	4	135	0
17-18:00	4	139	0	4	139	0
18-19:00	0	139	0	0	139	0
19-20:00	0	139	0	0	139	0
Ukupno vrijeme čekanja = 30						
Maksimalni red čekanja = 15						



Slika 1-10: Odgode dizanja tereta na gradilištu

15. Zaključak

Iako je organizacija rada, radnika i resursa na gradilištu vrlo složen problem (čak bi bilo bolje to opisati kao skup problema različite naravi), ako se tom problemu pristupi s dovoljnom ozbiljnošću i pažnjom, on postaje lako riješiv, što može uvelike utjecati na produktivnost.

Dobra produktivnost na gradilištu je odraz kvalitetne pripreme i dobrog voditelja gradilišta, a kako bi gradilište bilo dobro organizirano i samim time produktivno, treba paziti na mnoge stvari. Mnogo toga ovisi i o samim radnicima, na što voditelj slabo može utjecati (gubljenje i traženje alata na gradilištu, neraspoloženost radnika zbog problema koji nisu rješivi unutar firme i slično), no treba se na bilo koji mogući način potruditi da pad produktivnosti iz tih razloga bude što manji, te da se time što manje utječe na promjenu planova i kašnjenje samih radova. Problemima treba pristupati inženjerski, proračunima i što točnijim podacima, jer je vremensko planiranje samo po sebi relativno neprecizno zbog svih faktora koji mogu svojim utjecajem „pomrsiti“ planove voditelja gradilišta (utjecaja velikog broja rizika). Iz dosadašnjeg vlastitog iskustva mogu zaključiti da će se uvijek u planu dogoditi nešto neočekivano što će uzrokovati smanjenu produktivnost a samim time kašnjenje ili povećanje troškova na gradilištu. Zato u proračune treba unositi što točnije, preciznije podatke, a što manje podataka koji su određeni slobodnom procjenom (pogotovo ako se radi o voditelju projekta kojemu nedostaje iskustva za takve procjene).

Samim time ovaj rad može poslužiti kao skup smjernica koje nam mogu pomoći pri lakšem organiziranju gradilišta, te kao podsjetnik na mnoge od stvari na koje pri tome trebamo pripaziti.

U radu su obuhvaćeni svi najčešći čimbenici koji imaju utjecaj na produktivnost radova na nekom gradilištu, odnosno na radnu snagu, troškove, radne strojeve, različite procese i slično. Dobrim pristupom prema svim tim čimbenicima (to jest dobrom organiziranošću) voditelj građenja može uštedjeti znatan novac i vrijeme povećanjem produktivnosti, te izraditi projekat mnogo kvalitetnije nego što bi to bilo izvedeno bez metodičnog i organiziranog rada.

Kao misao vodilju ovoga rada bih naveo da je bolje dobro promisliti i imati ideju o onom što ćemo raditi prije nego što prionimo tome poslu, to jest odvojiti dio vremena za promišljanje i onda tu ideju provesti u djelo, nego odmah raditi i tokom rada smišljati idući korak te vršiti korekcije prijašnjih koraka zbog nepromišljenosti.

16. LITERATURA

1. McCullough, David, *The Path Between the Seas*, Simon and Schuster, 1977, str. 531.
2. Rosefielde, Steven and Daniel Quinn Mills, "Is Construction Technologically Stagnant?", in Lange, Julian E. and Daniel Quinn Mills, *The Construction Industry*, Lexington Books, 1979, str. 83.
3. Chris Hendrickson, „Project Management for Construction“, Department of Civil and Environmental Engineering, Carnegie Mellon University, Pittsburgh
4. "Managing Mega Projects" prezentirano od G.R. Desnoyers na Project Management Symposium, Florham Park, NJ, November 12, 1980.
5. R.L. Tucker, "Perfection of the Buggy Whip," *The Construction Advancement Address*, ASCE, Boston, MA, Oct. 29, 1986.
6. Limun.hr, Pregled građevinskog sektora u Hrvatskoj, Svibanj 2012.
7. D.G. Mills: "Labor Relations and Collective Bargaining" (Poglavlje 4) in *The Construction Industry* (by J.E. Lang and D.Q. Mills), Lexington Books, D.C. Heath and Co., Lexington, MA, 1979.
8. Primjer preuzet od Stukhart, G. and Bell, L.C. "Costs and Benefits of Materials Management Systems," *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 113, No. 2, June 1987, str. 222-234.
9. Informacije vezane za ovaj primjer su preuzete od Exxon Pipeline Company, Houston, Texas.
10. Primjer preuzet od A.E. Kerridge, "How to Develop a Project Schedule," u A.E. Kerridge and C. H. Vervalin, *Engineering and Construction Project Management*, Gulf Publishing Company, Houston, 1986.
11. S.W. Nunnally, *Construction Methods and Management*, Second Edition, Prentice-Hall, 1986.
12. Paulson, C., "Automation and Robotics for Construction," *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 111, 1985, str. 190-207.
13. Primjer preuzet od Fred Moavenzadeh, "Construction's High-Technology Revolution," *Technology Review*, October, 1985, str. 32.
14. Ovaj i naredni primjeri ovoga poglavlja su preuzeti od E. Baracco-Miller i C.T. Hendrickson, *Planning for Construction*, Technical Report No. R-87-162, Department of Civil Engineering, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA 1987.
15. B.C. Paulson, W.T. Chan, and C.C. Koo, "Construction Operations Simulation by Microcomputer," *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 113, June 1987, str. 302-314.
16. Newell, G.F. *Applications of Queueing Theory*, Chapman and Hall, London, 1982.